



TESIS - TL142501

Analisis Pengaruh Temperatur Substrat dan Tekanan Gas Nitrogen Terhadap Pertumbuhan Kristal Aluminium Nitrida (AlN) Menggunakan Metode *Reactive Sputtering*

DIANITA WARDANI
NRP. 2714201201

DOSEN PEMBIMBING
Diah Susanti, S.T.,M.T.,Ph.D.
Dr. Agung Purniawan S.T.,M.Eng.

PROGRAM MAGISTER
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TESIS - TL142501

**The Analysis of the Effect Temperature
Substrate and Nitrogen Gas Pressure for
Crystal Growth Aluminum Nitride (AlN) Using
*Reactive Sputtering Method***

Dianita Wardani
NRP. 2714201201

ADVISOR
Diah Susanti, S.T.,M.T.,Ph.D.
Dr. Agung Purniawan S.T.,M.Eng.

MASTER PROGRAM
DEPARTMENT OF MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh November

Oleh:
Dianita Wardani
2714201201

Tanggal Ujian: 12 Januari 2017
Periode Wisuda: Semester Gasal 2016/2017

Disetujui oleh:

1. Diah Susanti, S.T.,M.T.,Ph.D.
NIP.197701162003122001

(Pembimbing I)

2. Dr. Agung Purniawan, S.T.,M.Eng.
NIP.197605282002121003

(Pembimbing II)

3. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T.,M.Sc.
NIP.198012072005011004

(Penguji)

4. Lukman Noerochim, S.T.,MSc.Eng.,Ph.D.
NIP.197703132003121001

(Penguji)



an. Direktur Program Pascasarjana
Asisten Direktur

Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng.
NIP.196110211986031001

an. Direktur Program Pascasarjana
Asisten Direktur

Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng.
NIP.196110211986031001

Analisis Pengaruh Temperatur Substrat dan Tekanan Gas Nitrogen Terhadap Pertumbuhan Kristal Aluminium Nitrida Menggunakan Metode *Reactive Sputtering*

Nama mahasiswa : Dianita Wardani
NRP : 2714201201
Pembimbing : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
Ko.Pembimbing : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng

ABSTRAK

Teknologi semikonduktor saat ini terus berkembang, baik dari segi penemuan material, teknik manufaktur, serta implementasi dan pengembangan. Salah satu bahan semikonduktor yang menarik perhatian saat ini adalah Aluminium Nitrida (AlN). Beberapa metode telah dilakukan untuk menumbuhkan AlN, salah satunya adalah metode *Reactive Sputtering*. Metode ini memiliki beberapa keunggulan antara lain teknik penumbuhan kristal yang sederhana, deposisi dengan temperatur rendah dan mudah untuk mengontrol parameter percobaan. Dalam penelitian ini telah dilakukan sintesis AlN dengan metode *Reactive Sputtering* diatas substrat SiO₂ dengan variasi temperatur substrat 200, 250, 290 °C dan tekanan nitrogen 10, 15, 20 mbar. Penelitian ini berhasil mensintesis nanomaterial AlN dengan sistem kristal heksagonal dan menunjukkan fasa yang terbentuk adalah *wurtzite*. Sedangkan morfologi AlN yang terbentuk tersusun atas partikel - partikel berbentuk bulat. Dari penelitian ini diketahui bahwa peningkatan temperatur substrat menghasilkan morfologi yang semakin merata dan homogen, kekasaran permukaan yang terbentuk dari 15,4 - 84 nm dan ukuran kristal yang diperoleh adalah 64 - 87 nm. Sementara penambahan tekanan gas nitrogen menyebabkan kristalinitas semakin baik. Pada penelitian diperoleh AlN dengan jenis gelombang *Transversal Optical* pada *wavenumber* 600-670 cm⁻¹. Sedangkan pertumbuhan kristal AlN terbaik diperoleh pada penumbuhan AlN dengan parameter temperatur substrat 290 °C dan tekanan gas nitrogen 20 mbar.

Kata Kunci : Semikonduktor, Aluminium nitrida (AlN), SiO₂, *ReactiveSputtering*, *Transversal Optical*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

An Analysis of Temperature Substrat Effect and Nitrogen Gas Pressure on Aluminum Nitride Crystal Growth Using Reactive Sputtering Method

Student Name : Dianita Wardani
NRP : 2714201201
Advisor : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
Advisor Coordinator : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng

ABSTRACT

Today's semiconductor technology continues to develop, both in terms of material discovery, manufacturing technique, as well as implementation and the development. One of semi-conductor materials that attracts today's attention is AlN. Several methods have been made to grow AlN, one of them is using the reactive sputtering method. This method has several advantages such as simple crystal growing technique, the deposition of low temperature and easy to control the experiment parameters. In this research, the researcher will utilize the AlN synthesis with a reactive sputtering method on the substrate SiO₂ that has done with variation substrate temperature of (200, 250, 290°C), and the nitrogen gas pressure of 10, 15 and 20 mBar. This study successfully synthesize nanomaterial AlN with a hexagonal crystal system and shows the wurtzite phase is formed. While morphology AlN formed composed of particles - spherical shaped particles. From this research it is known that raising the temperature of the substrate produces more uniform morphology and homogeneous, the surface roughness is formed from 15,4 to 84 nm and obtained the crystal size is 64-87 nm. While the addition of nitrogen gas pressure causes the better crystallinity. The research obtained AlN with Optical Transversal wave type at a wavenumber of 600-670 cm⁻¹. While the growth of AlN crystal growth of AlN is best obtained on the parameters of the substrate temperature 290 °C and nitrogen gas pressure of 20 mbar.

Keywords: Semiconductors, aluminum nitride (AlN), SiO₂, Reactive Sputtering, Optical Transversal

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan berkah dan rahmat yang luar biasa kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan studi jenjang Magister dan Tesis yang berjudul “Analisis Pengaruh Temperatur Substrat dan Tekanan Gas Nitrogen Terhadap Pertumbuhan Kristal Aluminium Nitrida (AlN) Menggunakan *Metode Reactive Sputtering*. Tesis ini disusun untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-sebesarnya kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam tersusunnya tesis ini antara lain:

1. Untuk Suami Ferdinal Adhitya Perdana yang telah memberikan doa, semangat, dukungan dan kesabaran hingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini
2. Kedua orang tua tercinta yang telah mendidik dengan penuh kasih sayang dan memberikan doa, semangat serta motivasi hingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Adik – adik saya M. Iqbal Wardhana dan Adhiskha Novianti Handini yang selalu mampu memberikan doa, saran dan semangat kepada penulis.
4. Kedua mertua yang penuh kasih sayang dan baik yang selalu mampu memberikan doa, dukungan dan semangat.
5. Ibu Diah Susanti, S.T.,M.T.,Ph.D. selaku dosen pembimbing tesis penulis dan Sekretaris Jurusan selama masa studi program magister atas segala saran, dukungan dan kesabarannya dalam membimbing penulis untuk menyelesaikan tesis ini.
6. Bapak Dr. Agung Purniawan S.T., M.Eng selaku ko-pembimbing tesis penulis dan Ketua Jurusan selama masa studi program magister atas segala saran, dukungan dan kesabarannya dalam membimbing penulis untuk menyelesaikan tesis ini.

7. Bapak Prof. Dr.rer.nat. Tri Mardji Atmono selaku staff Pusat Sains dan Teknologi Akselerator BATAN dan juga pembimbing yang telah banyak memberikan bantuan bimbingan,saran, dan segala arahan kepada penulis dalam penyelesaian tesis ini.
8. Ketua Prodi Magister Teknik Material dan Metalurgi, Bapak Dr.Lukman Noerochim, S.T.,M.Eng selaku dosen wali dan penguji yang telah banyak membantu penulis sebagai mahasiswa Magister Teknik Material dan Metalurgi ITS.
9. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T.,M.Sc selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak kritik dan saran untuk perbaikan tesis ini
10. Semua dosen di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS atas segala bantuannya dan ilmunya selama penulis menyelesaikan pendidikan program Magister.
11. Seluruh staff karyawan Teknik Material dan Metalurgi atas segala bantuannya selama penulis menyelesaikan pendidikan program Magister dan tesis ini
12. Rekan-rekan seperjuangan tugas akhir maupun tesis di Laboratorium Kimia Material, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember atas segala masukan dan kerja samanya hingga menyelesaikan tugas akhir maupun tesis ini dengan baik.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih terdapat banyak kekurangannya, oleh karena itu saran dan kritik yang membangun dengan senang hati penulis terima demi perbaikan ke arah yang lebih baik di masa datang.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Aluminium	5
2.2 Aluminium Nitrida	7
2.3 Semikonduktor III-Nitrida	10
2.4 Metode Sintesis Nanomaterial	11
2.5 Physical Vapor Deposition	15
2.5.1 Sputtering dengan Arus Searah (DC)	16
2.5.2 Sputtering dengan Radio Frequency (RF)	17
2.6 Jenis-jenis proses Physical Vapor Deposition	18
2.7 Aplikasi Golongan III-Nitrida	24
2.8 Hasil Penelitian Sebelumnya Mengenai Pertumbuhan Kristal Alumunium Nitrida	28
2.9 Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya	37
BAB 3 METODOGI PENELITIAN	39
3.1 Bahan Penelitian	39

3.2 Peralatan Penelitian	40
3.3 Rancangan Penelitian	48
3.4 Diagram Alir Penelitian	50
3.5 Prosedur Penelitian	52
3.5.1 Preparasi Spesimen substrat SiO ₂	52
3.5.2 Proses <i>Sputtering</i> Substrat SiO ₂ dan Penumbuhan AlN	52
3.5.3 Pengujian dan Karakterisasi	53
3.5.4 Pengambilan Data	54
3.5.5 Analisis Data	54
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Sintesis Aluminium Nitrida (AlN)	55
4.2 Analisis Hasil Karakterisasi <i>X-ray Diffraction</i> (XRD)	56
4.2.1 Analisis Fasa Hasil XRD	57
4.2.2 Analisis Kuantitatif Hasil XRD	63
4.3 Hasil Pengujian <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	66
4.4 Analisis Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) dan <i>Energy Dispersive X-Ray</i> (EDX)	71
4.4.1 Analisis Hasil Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	71
4.4.2 Analisis Hasil Karakterisasi <i>Energy Dispersive X-Ray</i> (EDX).....	76
4.5 Analisis Pengujian <i>Transmission Electron Microscope</i> (TEM)	78
4.6 Analisis Karakterisasi <i>Atomic Force Microscope</i> (AFM)	80
4.7 Hubungan Pengaruh Temperatur Substrat dan Tekanan Nitrogen Pada Pembentukan Nanomaterial Aluminium Nitrida (AlN)	85
4.8 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya	87
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	89
5.1 Kesimpulan	89
5.2 Saran.....	89
DAFTAR PUSTAKA	91
LAMPIRAN	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	a. Struktur <i>Hexagonal-Wurtzite</i> Aluminium Nitrida	8
	b. AlN ₄ unit tetrahedral [001]	8
Gambar 2.2	Hasil SEM <i>nanowire</i> Material AlN	12
Gambar 2.3	Dua Pendekatan Utama Sintesis Nanopartikel	14
Gambar 2.4	Proses Sputtering Pada Permukaan	15
Gambar 2.5	Skema Kerja <i>Vacuum Deposition</i>	19
Gambar 2.6	Skema Proses <i>Sputtering</i> dan Tumbukan Ion Pada Material Target	20
Gambar 2.7	Skema Kerja <i>Arc Vapor Deposition</i> Berdasarkan Sumber <i>Arc</i> <i>Vaporization</i>	23
	a. <i>Vacuum Arc</i>	23
	b. <i>Gaseous Cathodic Arc</i>	23
	c. <i>Anodic Arc</i>	23
	d. <i>Cathodic Arc with Plasma Duct</i>	23
Gambar 2.8	Skema Kerja <i>Ion Plating</i>	24
	a. <i>Plasma Based</i>	24
	b. <i>Vacuum Based</i>	24
Gambar 2.9	Aplikasi Pemanfaatan Golongan III-Nitrida	25
Gambar 2.10	Aplikasi Pemanfaatan Senyawa AlN Sebagai Sumber Cahaya Ultraviolet	25
Gambar 2.11	Posisi A-plane AlN LED	26
Gambar 2.12	Bagan <i>Light Emitting Diode</i> (LED)	27
Gambar 2.13	Struktur Sensor Gas	28
Gambar 2.14	Skema Pengukuran Sensitivitas Sensor Gas	28
Gambar 2.15	Hamburan Sinar-X pada Kristal	29
Gambar 2.16	Hasil Uji Karakterisasi XRD material AlN	30
Gambar 2.17	Hasil SEM AlN Nanowire dengan katalis logam	31
Gambar 2.18	Hasil SEM AlN dengan metode VLS.....	31
Gambar 2.19	Hasil SEM AlN dengan metode <i>Reactive Sputtering</i>	32
Gambar 2.20	Hasil FE-SEM (<i>cross section</i>) AlN	32

Gambar 2.21	Hasil uji FTIR AlN struktur Hexagonal	33
Gambar 2.22	Hasil Pencitraan TEM pada Penelitian Sebelumnya	33
Gambar 2.23	Skema Representasi Infra Merah Senyawa Anorganik	35
Gambar 2.24	Hasil Pengujian Transmittansi, Reflektansi dan AFM pada AlN	35
Gambar 2.25	Hasil Pengujian AFM pada AlN dengan Variasi temperatur ..	36
Gambar 3.1	Alat <i>Sputtering</i> PSTA-BATAN	40
Gambar 3.2	Alat Uji SEM FEI S50	41
Gambar 3.3	a. Skema Kerja Alat TEM	42
	b. Alat Uji TEM JEOL-1400.....	42
Gambar 3.4	Skema Kerja XRD	43
Gambar 3.5	Alat Uji X'Pert PANalytical XRD	44
Gambar 3.6	Skema Kerja Alat FTIR	46
Gambar 3.7	Alat Uji Mesin FTIR <i>Thermo Scientific</i> iS10	47
Gambar 3.8	Alat Uji <i>Atomic Force Microscope</i> (AFM) NEOS N8	48
Gambar 3.9	Skema Kerja Alat Uji AFM	48
Gambar 3.10	Diagram Alir Penelitian	50
Gambar 4.1	a. Substat SiO ₂	55
	b. Substat SiO ₂ yang terlapisi Au	55
Gambar 4.2	Sampel Hasil AlN dengan Metode <i>Reactive Sputtering</i>	56
Gambar 4.3	Pola Grafik XRD Interval $2\theta=30^{\circ}-80^{\circ}$ pada Temperatur 200°C dengan Variasi Tekanan Nitrogen	57
Gambar 4.4	Pola XRD pada Interval Sudut $2\theta = 30^{\circ} - 35^{\circ}$ pada Temperatur 200°C dengan Variasi Tekanan Nitrogen	58
Gambar 4.5	Pola Grafik XRD Interval $2\theta= 30^{\circ}-80^{\circ}$ pada Temperatur 250°C dengan Variasi Tekanan Nitrogen	59
Gambar 4.6	Pola XRD pada Interval Sudut $2\theta = 30^{\circ} - 35^{\circ}$ pada Temperatur 250°C dengan Variasi Tekanan Nitrogen	60
Gambar 4.7	Pola Grafik XRD Interval $2\theta=30^{\circ}-80^{\circ}$ pada Temperatur 290°C dengan Variasi Tekanan Nitrogen	60
Gambar 4.8	Pola XRD pada Interval Sudut $2\theta = 30^{\circ}-35^{\circ}$ pada Temperatur	

	290°C dengan Variasi Tekanan Nitrogen interval 31-35°	61
Gambar 4.9	Struktur Kristal <i>Hexagonal</i> untuk AlN	65
Gambar 4.10	Grafik hasil Uji Karakterisasi Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) pada AlN dengan Temperatur substrat 200° C	66
Gambar 4.11	Grafik hasil Uji Karakterisasi Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) pada AlN dengan temperatur substrat 250°C	67
Gambar 4.12	Grafik hasil Uji Karakterisasi Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) pada AlN dengan temperatur substrat 290°C	68
Gambar 4.13	Hasil Pengamatan SEM dengan perbesaran 15.000x pada Temperatur Substrat 200° C dengan Tekanan Nitroge	71
Gambar 4.14	Hasil Pengamatan SEM dengan perbesaran 15.000x pada Temperatur Substrat 250° C dengan Tekanan Nitroge	72
Gambar 4.15	Hasil Pengamatan SEM dengan perbesaran 15.000x pada Temperatur Substrat 290° C dengan Tekanan Nitrogen	73
Gambar 4.16	Hasil Pengamatan SEM dengan perbesaran 15.000x pada Tekanan Nitrogen 20 mBarr	74
Gambar 4.17	Pengujian EDX pada Temperatur Substrat 290° C dengan Tekanan Nitrogen 20 mBarr	76
Gambar 4.18	a. Hasil Pencitraan TEM Perbesaran 100 nm	79
	b. Hasil Pencitraan TEM Perbesaran 50 nm	79
	c. Hasil Uji SAED	79
Gambar 4.19	Hasil Pengujian AFM pada Temperatur 200° C dengan Tekanan Nitrogen 15 mBarr	80
Gambar 4.20	Hasil Pengujian AFM 3 Dimensi Senyawa AlN pada Temperatur 200° C dengan Tekanan Nitrogen 15 mBarr	81
Gambar 4.21	Hasil Pengujian AFM pada Temperatur 250° C dengan Tekanan Nitrogen 15 mBarr	81

Gambar 4.22	Hasil Pengujian AFM 3 Dimensi Senyawa AlN pada Temperatur 250 ^o C dengan Tekanan Nitrogen 15 mBarr	82
Gambar 4.23	Hasil Pengujian AFM pada Temperatur 290 ^o C dengan Tekanan Nitrogen 20 mBarr	82
Gambar 4.24	Hasil Pengujian AFM 3 Dimensi Senyawa AlN pada Temperatur 290 ^o C dengan Tekanan Nitrogen 20 mBarr	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Aluminium.....	6
Tabel 2.2	Sifat-sifat fisik Aluminium	6
Tabel 2.3	Parameter Fisik dari Senyawa AlN, GaN dan InN	9
Tabel 2.4	Hasil Range ikatan senyawa pada thin film AlN.....	9
Tabel 3.1	Penelitian Analisis Pengaruh Penumbuhan Aluminium Nitrida dengan variabel temperatur dan laju aliran nitrogen	38
Tabel 3.2	Numenklatur Hasil Penelitian	45
Tabel 4.1	Perhitungan Ukuran Kristal Aluminium Nitrida Notasi (200).....	64
Tabel 4.2	Perbandingan Parameter Kisi AlN	65
Tabel 4.3	Pengamatan Spektrum IR Pada AlN	69
Tabel 4.4	Komposisi Senyawa AlN	77
Tabel 4.5	Persebaran Senyawa AlN	78
Tabel 4.6	Hasil Pengamatan Karakterisasi AFM pada AlN.....	84

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan riset mengenai material yang berukuran nano atau disebut juga nanomaterial akhir –akhir ini banyak dilakukan. Penerapan nanomaterial pada *energy converter* dan *storage* serta peralatan (*device*) yang memiliki kinerja tinggi dan efisien merupakan solusi untuk masalah energi. Penelitian di bidang iptek nano telah menunjukkan terciptanya produk-produk baru dengan kinerja yang lebih baik. Hal tersebut secara signifikan telah meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan industri dan ekonomi dunia. Nanomaterial sendiri diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu : material *nano particle*, material *nano wire*, dan material *thin films*.

Salah satu nanomaterial yang sedang menjadi perhatian peneliti sekarang ini adalah bentuk *Nano wire* atau *Nanowhisker* terutama pada penelitian mengenai *Crystal Growth*. Tidak hanya dalam bidang rekayasa material, hampir seluruh bidang sains banyak yang tertarik pada penelitian ini. Hal ini disebabkan karena semakin kecil ukuran kristal suatu material, maka luas permukaannya akan semakin besar sehingga material dalam orde nanometer mempunyai jarak antar atom yang sangat kecil akan memudahkan terjadinya reaksi antar atom. Salah satunya adalah *aluminium nitride (AlN)* yang merupakan senyawa semikonduktor golongan III-Nitrid yang mempunyai sifat elektronik dan fotonik dengan stabilitas termal dan kimia yang baik, celah pita energi dengan lebar (6,015 eV) pada suhu kamar, konduktivitas termal yang tinggi (285 W/m-K) dan hambatan listrik yang tinggi ($>10^{14}$ cm). Sehingga AlN merupakan material semikonduktor yang bisa diaplikasikan untuk material substrat elektronik, bahan kemasan IC, alat peredam panas (*heat sink*) dan *field emission device* (Shi dkk,2014).

Beberapa metode sintesis secara fisika dan kimia untuk menghasilkan AlN dengan struktur nano 1-dimensi telah dikembangkan, meliputi metoda fasa uap seperti evaporasi termal, deposisi uap-kimia, deposisi fasa uap logam-organik (MOCVD), elektrodposisi serta metoda larutan seperti sintesis sol-gel, deposisi larutan, sintesis hidrotermal, teknik mikroemulsi, serta penumbuhan langsung

pada larutan alkohol-berair (Yoon, 2014) sudah dilakukan untuk proses pembentukan AlN, misalnya pertumbuhan produk AlN dapat terjadi pada temperatur 1300°C dengan *rate* 10°C/min, menggunakan teknik *Vapor Liquid Solid* (VLS) dan menggunakan aliran gas nitrogen (Zhang dkk, 2010). Nanostruktur 1 dimensi AlN berhasil ditumbuhkan dengan waktu tahan 45 menit dan *sputtering* Au dengan aliran gas argon beberapa saat, kemudian dialiri gas nitrogen (Yu dkk, 2011). Pembentukan heksagonal AlN berhasil ditumbuhkan di atas substrat Si (100) di bawah berbagai variasi tekanan sputtering oleh frekuensi radio (RF) magnetron *Reactive Sputtering* (Wei dkk, 2014). Penelitian lainnya menggunakan DC magnetron reactive sputtering berhasil mendeposisikan AlN dengan Si (100) dengan ukuran substrat 0.5 x 1.0 cm², dengan variasi campuran gas argon, nitrogen dan hidrogen (Lee dkk, 1995). Pada penelitian akan digunakan metode *Reactive Sputtering* dikarenakan metode tersebut lebih efektif, lebih murah, tidak memerlukan temperatur pertumbuhan yang tinggi dan dapat menghasilkan pertumbuhan kristal yang lebih baik (Lee dkk, 1995). Di samping itu penelitian mengenai pengaruh tekanan gas argon dan laju aliran gas nitrogen terhadap pertumbuhan kristal AlN dengan metode *Reactive Sputtering* sepanjang yang penulis ketahui belum pernah dilakukan. Untuk itulah maka pada penelitian kali ini akan dilakukan analisis pengaruh temperatur (200, 250 dan 290°C) dan (10, 15 dan 20 mbar) pada proses *Reactive Sputtering* terhadap struktur dan morfologi kristal AlN pada substrat material SiO₂ yang disputter menggunakan Au. Dari penelitian ini diharapkan kondisi yang sesuai untuk menumbuhkan nanomaterial AlN.

1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang terdapat dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur substrat terhadap struktur dan morfologi kristal material AlN ?
2. Bagaimana pengaruh variasi tekanan gas nitrogen selama proses pertumbuhan terhadap struktur dan morfologi kristal material AlN ?

1.3 Batasan Masalah

1. Pengotor yang terkandung dalam proses diabaikan.
2. Aliran gas Argon dianggap konstan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian pembuatan Aluminium Nitrida (AlN) ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh variasi temperatur substrat terhadap struktur dan morfologi nanomaterial AlN.
2. Menganalisis pengaruh tekanan gas nitrogen terhadap struktur dan morfologi nanomaterial AlN.

1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan dari penelitian ini diperoleh kondisi pertumbuhan AlN yang baik, sehingga menumbuh kembangkan penguasaan dalam bidang teknologi nano terutama dalam proses sintesa dan fabrikasi penumbuhan kristal *aluminium nitrida* (AlN). Dengan keberhasilan membuat bahan AlN yang berukuran nano akan memberikan peluang aplikasi teknologi dan segi ilmiah. Kontribusi penelitian ini pada pengembangan ilmu pengetahuan, menghasilkan paper ilmiah dan diharapkan pada masa mendatang dapat terus dikembangkan penelitian ini, sehingga dapat digunakan dalam skala yang lebih luas.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Aluminium

Aluminium merupakan logam yang memiliki beberapa kelebihan dari pada logam lainnya. Aluminium relatif lebih ringan dari pada baja, tembaga, maupun kuningan. Sebagai konduktor listrik dan panas yang baik. Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy dalam tahun 1809 sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H. C. Oersted tahun 1825. Aluminium ditemukan di alam berupa oksida yang sangat stabil. Aluminium mempunyai struktur kristal kubus pemusatan sisi (FCC). Aluminium merupakan logam yang secara fisik berwarna putih perak dan mempunyai sifat yang ulet. Fasa kimianya termasuk dalam grup boron. Mempunyai symbol Al dengan nomor atom 13. Fasa FCC ini tidak dapat larut dalam air dalam kondisi normal. Aluminium merupakan logam yang paling berlimpah di dalam lapisan bumi dan fasa terbanyak ketiga dalam lapisan bumi setelah oksigen dan silikon. Prosentase berat fasa ini pada permukaan bumi sekitar 8%. Di alam, secara kimia aluminium sangat reaktif apabila sebagai logam bebas. Aluminium mempunyai kemampuan yang sangat bagus untuk tahan terhadap serangan korosi seiring dengan fenomena passivasinya dan kerapatan logamnya yang rendah (Genchem, 2008).

Dengan karakteristik yang ditunjukkan seperti Tabel 2.1 didapatkan pula penelitian aluminium mempunyai ketahanan korosi dan hantaran listrik yang relatif baik. Sehingga untuk menaikkan nilai tambah seperti sifat mekaniknya maka secara umum aluminium biasanya dipadukan dengan unsur-unsur lainnya. Adapun sifat-sifat fisik aluminium ditunjukkan pada Tabel 2.2

Tabel 2.1 Karakteristik Aluminium

Sifat	Nilai dan satuan
No Atom	13
Modulus elastisitas	2386,67 N/mm ²
Modulus elastisitas geser	795,56 N/mm ²
Poisson ratio	0,33
Densitas	2,7 g.cm ⁻³
Vicker <i>hardness</i>	167 Mpa
Brinell <i>hardness</i>	245 Mpa
Titik Leleh	600 ⁰ C

Sumber: Schupp,2011

Tabel 2.2 Sifat-sifat fisik Aluminium

Sifat–sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	>99,0
Massa Jenis (20°C)	2,6989	2,71
Titik Cair	660,2	653-657
Panas Jenis (cal/g°C) (100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran Listrik (%)	64,94	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (°C)	0,00429	0,0115
Koefisien Pemuaian (20-100°C)	23,86 x 10 ⁻⁶	23,86 x 10 ⁻⁶
Jenis Kristal, konstanta kisi	FCC, a= 4,013 Å	FCC, a= 4,013 Å

Sumber: Grynko,2013

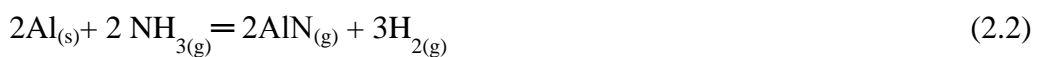
Aluminium merupakan logam yang ringan dan cukup penting dalam kehidupan manusia. Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistim periodik unsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol. Di dalam udara bebas aluminium mudah teroksidasi membentuk lapisan tipis oksida (Al₂O₃) yang tahan terhadap korosi. Aluminium juga bersifat amfoter

yang mampu bereaksi dengan larutan asam maupun basa (Anton J. Hartono, 1992).

2.2 Aluminium Nitrida

Aluminium nitrida (AlN) merupakan semikonduktor golongan III-V yang memiliki phase wurtzite. AlN pertama kali disintesis pada tahun 1877 sampai pada pertengahan 1980. Dari hasil sintesis banyak sekali ditemukan manfaat dari Aluminium Nitrida (AlN) untuk aplikasi elektroknik dan optoelektronik. AlN memiliki temperatur leleh yang tinggi pada suhu 2800°C di bawah 100 atm . Sedangkan didalam vakum AlN mengalami dekomposisi pada temperatur 1800°C. Pada udara, permukaan oksidasi berada pada temperatur di atas 700°C dan saat berada pada temperatur ruang permukaan lapisan oksida bisa terlihat pada ukuran 5-10nm (Bae,2008).

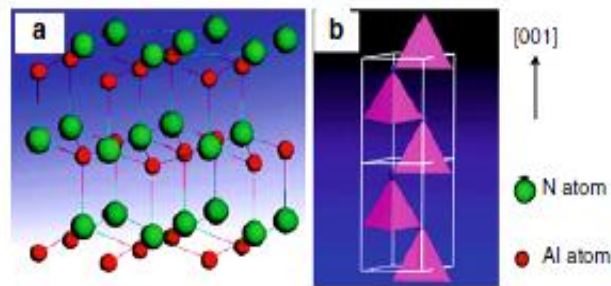
Adapun reaksi nitridasi yang melibatkan gas nitrogen dengan aluminium dapat ditulis dengan persamaan 2.1 dan 2.2 (Dyzia dan Sleziona, 2008).



Dari kedua persamaan tersebut, ketika pada temperatur 700 °C, nilai entalpi reaksi untuk persamaan 2.1 sebesar -658,99 kJ/mol dan jumlah energi bebas sebesar -429,87 kJ/mol. Sedangkan untuk persamaan 2.2, nilai entalpi proses lebih tinggi daripada persamaan 2.1 yaitu sebesar -549,23 kJ/mol, tetapi untuk nilai energi bebas lebih rendah, yaitu sebesar -547,09 kJ/mol. Persamaan 2.2 nilai entalpi didapatkan dari proses disosiasi temperatur tinggi, dimana nilai entalpi yang didapatkan hampir sama, hal ini dikarenakan amonia lebih aktif dari pada nitrogen. Dilihat dari ilmu termodinamika, aluminium nitrida didapatkan dari proses eksotermik dan bisa bekerja pada interval temperatur yang tinggi.

Dari Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 dapat diketahui bahwa karakter AlN merupakan salah satu material prospektif dengan celah pita energi (*bandgap*) yang lebarehingga material ini dapat diaplikasikan untuk alat elektronik dan optoelektronik pada temperatur dan daya yang tinggi. AlN juga memiliki ikatan

yang sangat kuat dan bersifat ionik dengan energi ikat sebesar 4,2 eV dimana lebih besar dari energi ikat C-C dalam intan (3,8 eV). AlN mulai terurai (terdekomposisi) pada temperatur tinggi (2792 K). Kekristalan film tipis AlN umumnya terbentuk pada temperatur deposisi antara 700°C hingga 1080°C. Sebagaimana senyawa- senyawa biner grup III-V yang lain, AlN berada dalam struktur kristal *wurtzite* (heksagonal).



Gambar 2.1a. Struktur *Hexagonal-Wurtzite* Aluminium Nitrida b. AlN unit tetrahedral [001] (Yi, 2010)

AlN dengan struktur *wurtzite* pada Gambar 2.1 memiliki celah pita energi $E_g = 6,15$ eV pada temperatur ruang. Konstanta kisi AlN pada struktur kubik adalah $a = 4,52 \text{ \AA}$, sedangkan pada struktur heksagonal adalah $a = 3,112 \text{ \AA}$ dan $c = 4,982 \text{ \AA}$. (Woey, 2009). AlN memiliki bandgap terbesar dalam kelompok III-nitrida yang membuat bahan ini penting ketika mengejar panjang gelombang lebih pendek perangkat emisi cahaya yang mana bisa diaplikasikan dalam diode pemancar cahaya (LED) berbasis AlN dengan PIN (Tipe-p/intrinsic/n-tipe) dan MIS (metal-insulator-semikonduktor). (Bae, 2008)

Tabel 2.3 Parameter Fisik dari Senyawa AlN, GaN dan InN

Karakteristik			
Parameter	AlN	GaN	InN
Densitas (g/cm^3)	3.23	6.15	6.81
Titik lebur (K)	3487	2791	2146
<i>Bandgap</i> Eg (T=0) (eV)	6.25	3.51	0.69
<i>Bandgap</i> Eg (T=300) (eV)	6.14	3.43	0.64
Energi ikatan (meV)	60	34	9
Radius Bohr (nm)	1.4	2.4	8
Frekuensi konstanta dielektrik	4.6	5.4	6.7
Konstanta dielektrik statis	8.5	8.9	10.5
Temperatur dekomposisi ($^{\circ}\text{C}$)	1040	850	630
Energi aktivasi dekomposisi (kJ/mol)	414	379	336

Sumber: J.Wu, 2009

Pada tabel 2.3 diatas dapat kita ketahui bahwa AlN apabila dibandingkan dengan senyawa lainnya mempunyai densitas yang kecil, titik lebur yang besar, bandgap yang lebar, dan nilai energi ikatan yang tinggi. Sehingga dari tabel diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa dibandingkan dengan senyawa yang lain, AlN merupakan semikonduktor yang mempunyai kelebihan dibandingkan dengan senyawa golongan III nitrida lainnya.

2.3 Semikonduktor III-Nitrida

Kristal semikonduktor ditandai dengan adanya *bandgap*, yaitu celah pita energi yang terletak di antara pita valensi yang berisi elektron penuh dengan pita konduksi yang kosong. Celah pita energi ini berkaitan dengan sifat luminesen material eksitasi tahap pertama pada semikonduktor yaitu pada elektron dibawah pita konduksi dan hole pada pita bagian atas. Beberapa semikonduktor golongan II-IV dan III-V akan mengalami perubahan celah pita energi dengan perubahan ukuran partikel yang menghasilkan pergeseran pada spektrum optiknya.

Jika mendapat energi yang cukup misalnya dari foton atau tumbukan oleh partikel lain, elektron yang semula berada di pita valensi dapat meloncat ke pita konduksi. Loncatan tersebut meninggalkan keadaan kosong di pita konduksi, yang dikenal dengan hole. Agar elektron dapat mencapai pita konduksi, energi yang diterima harus lebih besar dari celah pita energi, E_g . Umumnya, cahaya yang digunakan untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi adalah cahaya ultraviolet. Kebergantungan lebar celah pita energi nanopartikel semikonduktor terhadap ukuran partikel diturunkan pertama kali oleh persamaan Brus dengan menggunakan pendekatan massa efektif yaitu:

$$E^* = E_g + \frac{h^2}{8\mu R^2} - \frac{1,8 e^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_\infty R} \quad (2.3)$$

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \quad (2.4)$$

Dengan $E_g(R)$ adalah lebar celah pita energi nanopartikel yang berjari-jari R , $E_g(\infty)$ adalah lebar celah pita energi material yang sama dalam ukuran ruang (*bulk*), h adalah konstanta Planck, R yaitu jari-jari partikel, m_e^* adalah massa efektif elektron, m_h^* adalah massa efektif *hole*, e adalah muatan elektron, dan k adalah konstanta dielektrik material. Persamaan ini cukup sesuai dengan hasil eksperimen jika ukuran partikel lebih besar dari 3 nm, tetapi agak menyimpang jika ukuran partikel kurang dari 3 nm. Hal ini disebabkan karena massa efektif tidak terlalu tepat digunakan jika ukuran partikel sangat kecil, di mana partikel hanya mengandung ratusan atom.

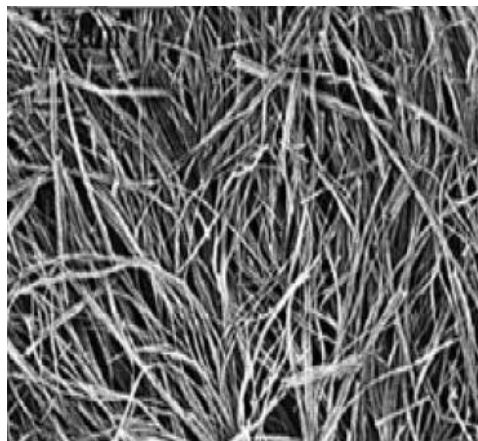
Pada Persamaan 2.3 suku kedua muncul akibat keterbatasan ruang gerak elektron dan *hole* di dalam partikel (disebut *confinement effect*). Efek ini memperbesar jarak antara pita valensi dan pita konduksi. Suku ketiga muncul akibat adanya tarikan Coulomb antara elektron dan *hole* setelah elektron mengalami eksitasi. Karena ruang gerak elektron yang terbatas, maka jarak elektron dan *hole* tidak bisa jauh. Akibatnya, tarikan antara keduanya selalu ada yang beimbaskan pada pengurangan energi yang dimiliki elektron setelah mengalami eksitasi. Jika ukuran partikel sangat besar (*bulk*) maka elektron dan *hole* dapat berpisah sangat jauh sehingga tarikan antara keduanya dapat dianggap nol. Akibatnya tidak ada pengurangan energi yang dimiliki elektron setelah meloncat ke pita valensi.

Pada kelompok biner III-nitrida - misalnya AlN, GaN, InN, TiN, dan paduan terner dan kuartener memiliki sejumlah sifat fisis, optik, dan sifat elektronik yang menarik untuk dibuat fabrikasi material yang baru. Kelompok III-nitrida dapat mengkristal dalam struktur Kristal *heksagonal wurtzite* (wz) atau dalam struktur *cubic zinc blended* (zb) dalam berbagai energi *bandgap* yang tergantung pada komposisi. Struktur kristal yang paling stabil dari III-nitrida adalah struktur kristal *heksagonal wurtzite*, yang sebagian strukturnya merupakan padatan ionik karena memiliki perbedaan besar dalam keelektronegatifan dari kelompok-III kation logam dan nitrogen anion. Karena ionik yang kuat pada ikatan III-N, sehingga sel unit III-nitrida terdistorsi dari heksagonal ke sel unit yang ideal, sehingga menyebabkan polarisasi spontan sepanjang sumbu-c (Grynko, 2013).

2.4 Metode Sintesis Nanomaterial

Pada saat ini, perkembangan nanomaterial terus dilakukan oleh para peneliti, baik dari dunia akademik maupun dari dunia industri. Semua peneliti seolah berlomba untuk mewujudkan karya baru dalam dunia nanomaterial. Salah satu bidang yang menarik minat banyak peneliti adalah pengembangan metode sintesis nanomaterial. Dari sintesis nanomaterial, peneliti memperkecil lingkup penelitian ke arah sintesis nanopartikel. Nanopartikel dapat terjadi secara alamiah ataupun melalui proses sintesis oleh manusia. Sintesis nanopartikel bermakna pembuatan partikel dengan ukuran yang kurang dari 100 nm dan sekaligus

mengubah sifat atau fungsinya. Salah satu jenis nanomaterial adalah *nanowire*. *Nanowire* adalah kristal tunggal yang diperpanjang (*elongated single crystal*) dan memiliki kekuatan yang sangat tinggi karena bebas dari dislokasi. Penguatan dengan *wire* (*wire reinforcement*) adalah salah satu dari tiga cara penguatan dalam teknologi bahan komposit di samping penguatan dengan *particulate* (*particulate reinforcement*) dan penguatan serat (*fibers reinforcement*). *Nanowire* atau dikenal juga sebagai batang nano (*nanorods*) atau jenggot nano (*nanowhisker*), kedua jenis tersebut merupakan blok pembangun material anorganik yang memiliki potensi aplikasi yang tinggi pada material semikonduktor. *Nanowire* merupakan material padatan anorganik berbentuk seperti kabel yang dapat dibuat dari silikon, Oksida Seng (ZnO), Galium Nitrida (GaN), Aluminium Nitrid (AlN) dan berbagai logam lain. Meskipun diameternya hanya dalam skala nanometer, namun panjang *nanowire* dapat mencapai ribuan kali diameternya atau hingga puluhan mikrometer (Yu, 2011).

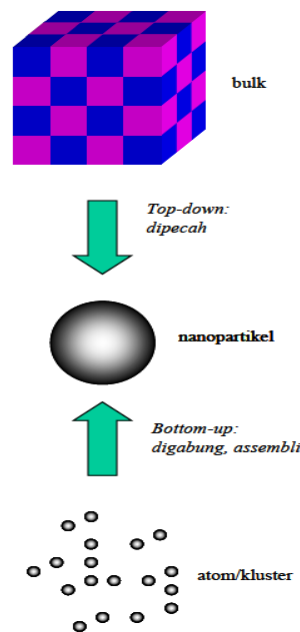


Gambar 2.2 Hasil SEM *nanowire* Material AlN (Daniel, 2012)

Orang umumnya ingin memahami lebih mendalam mengapa nanopartikel dapat memiliki sifat atau fungsi yang berbeda, dari material sejenis dalam ukuran besar (*bulk*). Dua hal utama yang membuat nanopartikel berbeda dengan material sejenis dalam ukuran besar yaitu, yang pertama karena ukurannya yang kecil, nanopartikel memiliki nilai perbandingan antara luas permukaan dan volume yang lebih besar, jika dibandingkan dengan partikel sejenis dalam ukuran besar. Ini membuat nanopartikel bersifat lebih reaktif. Reaktivitas material ditentukan oleh

atom-atom di permukaan, karena hanya atom-atom tersebut yang bersentuhan langsung dengan material lain. Dan yang kedua adalah ketika ukuran partikel menuju orde nanometer, maka hukum fisika yang berlaku lebih didominasi oleh hukum fisika kuantum. Sifat-sifat yang berubah pada nanopartikel biasanya berkaitan dengan fenomena-fenomena berikut ini. Pertama adalah fenomena kuantum sebagai akibat keterbatasan ruang gerak elektron dan pembawa muatan lainnya dalam partikel. Fenomena ini berimbas pada beberapa sifat material seperti perubahan warna yang dipancarkan, transparansi, kekuatan mekanik, konduktivitas listrik, dan magnetisasi. Kedua adalah perubahan rasio jumlah atom yang menempati permukaan terhadap jumlah total atom. Fenomena ini berimbas pada perubahan titik didih, titik beku, dan reaktivitas kimia. Perubahan-perubahan tersebut diharapkan dapat menjadi keunggulan nanopartikel dibandingkan dengan partikel sejenis dalam keadaan bulk. Para peneliti juga percaya bahwa kita dapat mengontrol perubahan-perubahan tersebut ke arah yang diinginkan (Abdullah dkk, 2008).

Sintesis nanopartikel dapat dilakukan dalam fasa padat, cair, maupun gas. Proses sintesis pun dapat berlangsung secara fisika atau kimia. Proses sintesis secara fisika tidak melibatkan reaksi kimia. Proses yang terjadi hanya pemecahan material besar menjadi material berukuran nanometer, atau pengabungan material berukuran sangat kecil, seperti kluster, menjadi partikel berukuran nanometer tanpa mengubah sifat bahan. Proses sintesis secara kimia melibatkan reaksi kimia dari sejumlah material awal (*precursor*) sehingga dihasilkan material lain yang berukuran nanometer. Contohnya adalah pembentukan nanopartikel garam dengan mereaksikan asam dan basa yang bersesuaian (Abdullah dkk, 2008).



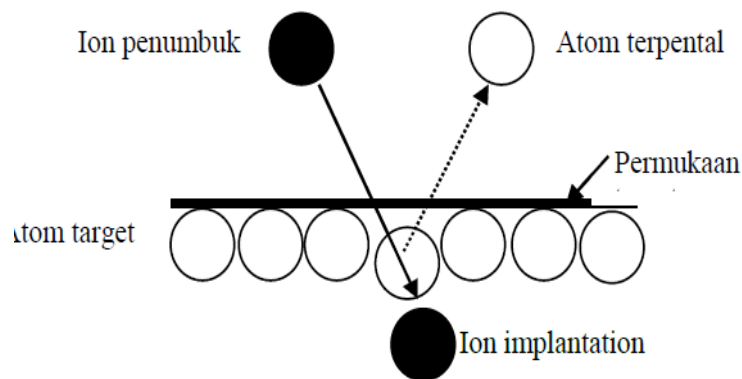
Gambar 2.3 Dua Pendekatan Utama Sintesis Nanopartikel :*Top-Down* dan *Bottom-Up* (Abdullah, 2008)

Secara umum, sintesis nanopartikel akan masuk dalam dua kelompok besar. Gambar 2.3 menjelaskan dua pendekatan besar dalam proses sintesis nanopartikel. Cara pertama adalah memecah partikel berukuran besar menjadi partikel berukuran nanometer. Pendekatan ini kadang disebut pendekatan *top-down*. Pendekatan kedua adalah memulai dari atom-atom atau molekul-molekul atau kluster-kluster yang diassembli membentuk partikel berukuran nanometer yang dikehendaki. Pendekatan ini disebut *bottom-up* (Abdullah dkk, 2008).

Sintesis nanomaterial dapat dilakukan dalam fasa padat, cair, maupun gas. Proses sintesisnya dapat berlangsung secara fisika atau kimia. Proses sintesis secara fisika tidak melibatkan reaksi kimia. Dengan metode pemecahan material besar menjadi partikel berukuran nanometer, pendekatan ini disebut *top-down* atau penggabungan material berukuran sangat kecil, mulai dari atom-atom atau molekul-molekul yang membentuk partikel nanometer tanpa mengubah sifat bahan, pendekatan ini disebut *bottom-up*.

2.5 Physical Vapor Deposition

Physical Vapor Deposition (PVD) atau sputtering pertama kali diamati pada tabung gas discharge DC oleh Grove pada tahun 1852. Namun, saat ini *sputtering* banyak digunakan untuk membersihkan permukaan dan etsa, deposisi film tipis, permukaan dan analisis lapisan permukaan, dan *sputter* sumber ion. Pembahasan tentang prinsip *sputtering* dapat di mulai dengan definisi plasma. Dalam fisika dan kimia, plasma adalah gas yang terionisasi. Plasma dianggap sebagai fasa yang berbeda dari material yang lain karena memiliki sifat unik. Terionisasi mengacu pada kehadiran satu atau lebih elektron bebas, yang tidak terikat pada atom atau molekul. Muatan listrik bebas membuat plasma elektrik bersifat konduktif sehingga merespon kuat medan elektromagnetik. Proses *sputtering* diprakarsai oleh tabrakan pertama antara insiden ion yang terionisasi (plasma) dan atom permukaan target diikuti oleh kedua dan tabrakan ketiga antara atom permukaan target. Perpindahan atom permukaan target akhirnya akan lebih isotropik karena tabrakan beruntun dan atom akhirnya dapat terlepas atau berpindah dari permukaan. Ilustrasi tabrakan saat sputtering di permukaan target ditunjukkan oleh gambar berikut.



Gambar 2.4 Proses *Sputtering* Pada Permukaan (Atmono,2003)

Sputtering adalah proses terlemparnya (*ejected*) materi dari suatu permukaan zat padat atau zat cair akibat ditumbuk oleh partikel berenergi tinggi hingga terjadi pertukaran momentum (*momentum exchange*). Target yang berupa bahan pelapis (*coating material*) diletakkan searah dengan substrat (*coating material*) diletakkan searah dengan substrat (Gambar 2.4) dalam suatu ruang

vakum dengan tekanan awal (*base pressure*) tertentu. Jenis partikel yang ditembakkan berasal dari ion gas yang tidak mudah bereaksi zat lain atau gas inert. Materi yang terlempar berupa atom dari suatu logam atau campuran logam akan menempel pada permukaan substrat.

Sistem *sputtering* dapat melapiskan berbagai jenis logam maupun paduan logam (*metal alloy*) atau non logam pada substrat sehingga dalam industri rangkaian hibrid, sistem *sputtering* banyak dipakai sebagai salah satu langkah utama untuk membuat lapisan film tipis (*Thin Film Layer*) pada substrat.

Sistem *sputtering* merupakan sistem yang paling banyak memberikan keuntungan dibandingkan dengan vakum evaporasi.

- (a) Dapat melapisi film dari jenis logam, paduan logam, isolator, semikonduktor bahkan logam magnetik
- (b) Kecepatan pendeposisian untuk setiap jenis bahan tidak jauh berbeda
- (c) Dapat melakukan pendeposisian banyak lapisan (multilayer) dengan baik karena kemampuan melapisi berbagai jenis logam
- (d) Ketebalan film lebih mudah dan sederhana untuk diamati dan dikendalikan
- (e) Daya adhesi antara film dan permukaan substrat lebih kuat

2.5.1 *Sputtering* dengan Arus Searah (DC)

Sputtering dengan arus searah (DC *Sputtering*) atau biasanya disebut cathode sputtering, bekerja pada tekanan rendah dan biasanya menggunakan gas argon (Ar) untuk menghasilkan ion-ionnya. Disebut sebagai *Sputtering* dengan arus searah (DC *Sputtering*) karena tegangan yang digunakan untuk mempertahankan terjadinya *glow discharge* adalah tegangan searah yang cukup tinggi antara ratusan volt sampai ribuan volt pada kedua elektrodanya.

Pada anodanya diletakkan substrat yang akan dilapisi film sedangkan target atau bahan pelapisnya diletakkan pada katodanya. Keduanya diletakkan saling berhadapan dengan arah normal dan diantara keduanya akan dimasukkan gas argon (Ar) dengan tekanan rendah sehingga akan terjadi *glow discharge* saat diberi tegangan pada kedua elektrodanya. Ion-ion argon (Ar) yang bermuatan positif akan menghantam target pada katoda yang berpotensi negatif. Akibatnya tumbukan dengan energi tinggi akan atom-atom dari material akan terlempar

dari target. Atom-atom tersebut akan menempel pada substrat dan akan membuat lapisan film tipis (*thin film layer*) pada substrat.

Sebelum gas argon (Ar) dimasukkan kedalam ruangan vakum, harus lebih dahulu memenuhi kondisi awal tekanan (*base pressure*) antara $10^{-5} - 10^{-7}$ torr. Tujuannya adalah agar bersih dari segala jenis partikel dan juga tidak ada lagi gas residu seperti oksigen dalam ruang tersebut. Sehingga didapat hasil pendeposisian yang optimum.

2.5.2 *Sputtering* dengan *Radio Frequency* (RF)

Pada target jenis isolator tidak dapat melapisi substrat dengan menggunakan sistem *sputtering* arus searah *DC-sputtering* karena tegangan yang digunakan akan mencegah terjadinya penetrasi muatan positif yang berkumpul pada permukaan target, saat ditumbuk oleh ion-ion. Berkumpulnya muatan positif akan menyebabkan perbedaan potensial pada katoda dan anoda menjadi semakin kecil. Akibatnya keadaan *glow discharge* tidak dapat dipertahankan bahkan akan mematikan *glow discharge*. Untuk mengatasinya yaitu dengan menggunakan tegangan bolak-balik dengan frekuensi tinggi. Karena frekuensi yang digunakan adalah frekuensi radio maka proses ini disebut *RF sputtering*. Frekuensi radio yang sering digunakan pada industri-industri, bidang penelitian ilmiah dan bidang adalah 13,56 MHz.

RF-sputtering mempunyai banyak kelebihan dibandingkan *DC-sputtering* karena selain bahan isolator, sistem ini juga dapat menggunakan target jenis konduktor, resistor, dan dielektrik. Dengan kelebihan yang dimiliki *RF-sputtering* menambah fungsi dan industri-industri elektronik khususnya dalam bidang teknologi film tipis.

Substrat dipasang pada anoda sedangkan material yang akan dideposisikan atau biasanya disebut “material target” akan diletakkan pada katoda. Antara katoda dengan anoda diberi tegangan tinggi (500 V – 5000 V). Perbedaan tegangan searah yang tinggi ini, akan mengakibatkan terionisasinya gas argon (Ar) menghasilkan *glow discharge*, yaitu pembentukan plasma secara terus menerus. Sumber elektron akan mendukung ionisasi semakin cepat. Ion ini akan membombardir material katoda (target) dengan energi tinggi yang mengakibatkan

atom secara molekul target terpelantai (tercungkil) dari permukaannya. Sebagian dari partikel ini akan mengendap pada substrat. Sudut jatuhnya atom pada permukaan substrat berbeda-beda, hal ini akan menghasilkan suatu film tipis yang rata dibandingkan dengan proses evaporasi.

Metoda *Sputtering* seperti ini disebut DC *Sputtering* atau *cathode sputtering*. DC *Sputtering* hanya dapat digunakan untuk proses deposisi material yang bersifat konduktor. Adapun untuk material non konduktor (isolator, dielektrik) proses deposisi harus dilakukan dengan RF *Sputtering*, karena potensial akselerasi dari sumber DC tidak bisa digunakan langsung pada permukaan isolator. Disini, ion gas yang mencapai permukaan target tidak dapat dinetralkan karena tidak tersedianya elektron bebas. Ion akan membentuk lapisan bermuatan positif pada permukaan target yang mengakibatkan terhentinya proses *sputtering* karena tidak adanya *glow discharge*. Masalah ini bisa diatasi dengan menggunakan tegangan bolak balik pada frekuensi radio 13,56 MHz. Dengan RF *Sputtering* proses deposisi bisa dilakukan menggunakan target yang bersifat isolator, konduktor, resistor maupun dielektrik.

2.6 Jenis-jenis Proses *Physical Vapor Deposition*

Proses pelapisan dengan PVD memiliki beberapa jenis proses. Diantaranya adalah *vacuum deposition (evaporation)*, *sputter deposition*, *arc vapor deposition*, dan *ion plating*.

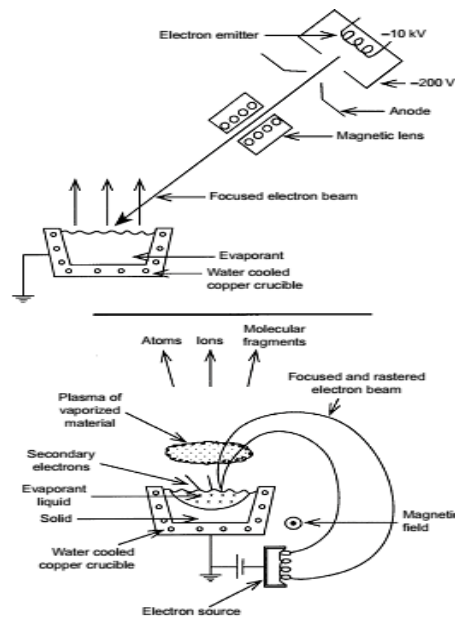
1. *Vacuum Deposition (Vacuum Evaporation)*

Vacuum deposition merupakan salah satu proses PVD, dimana material target (material pelapis) dipanaskan hingga mencapai fasa uap (evaporasi) dan kemudian diarahkan menuju substrat tanpa mengalami reaksi dengan molekul gas di sekitarnya seperti yang terlihat pada Gambar 2.5. Sehingga ruangan tempat terjadinya deposisi harus berada pada kondisi vakum untuk menurunkan kadar gas-gas kontaminan di dalam ruangan deposisi. Tekanan gas pada proses *vacuum deposition* berada pada rentang 10^{-5} hingga 10^{-9} Torr tergantung pada kadar gas kontaminan yang diperbolehkan dalam sistem. (Mattox, 2010)

Panas penguapan yang digunakan pada proses ini secara umum berasal dari berkas elektron berenergi tinggi yang dihasilkan dengan

memanaskan material target itu sendiri. Dan substrat diletakkan pada jarak tertentu agar tidak terkena radiasi panas dari material target.

Proses ini digunakan untuk membentuk lapisan *optical interference*, lapisan dekoratif, lapisan konduktor elektrik, lapisan tahan aus, dan sebagai lapis lindung terhadap korosi.



Gambar 2.5 Skema Kerja *Vacuum Deposition* (Mattox, 2010)

2. *Sputter Deposition*

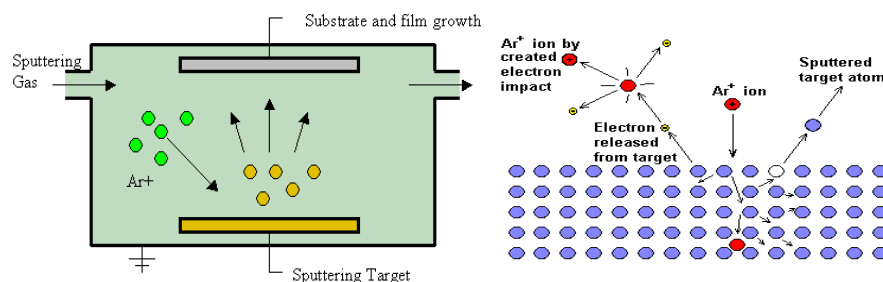
Proses *sputtering* diawali dengan proses ionisasi gas-gas *sputter* seperti argon (Ar), xenon (Xe), krypton (Kr), neon maupun helium (He) pada tekanan parsial (10^{-1} – 10^{-3} Torr) di dalam tabung reaktor plasma. Akibat pengaruh medan listrik di antara elektroda maka ion-ion gas *sputter* akan bergerak dengan energi yang tinggi menuju material target/katoda (Sujitno, 2003). Bila energi kinetik ion gas-gas *sputter* cukup tinggi untuk mengatasi energi ikat (*binding energy*) atom-atom target, maka akibat transfer momentum, atom-atom target akan terlempar dari induknya dan bergerak menuju ke substrat.

Material target yang digunakan pada proses ini dapat berupa unsur, senyawa, maupun campuran. Beberapa material campuran seperti pada TiN dan ZrN biasanya menggunakan gas-gas reaktif dalam tabung plasma. Adanya

gas-gas yang berfungsi sebagai *plasma activation* ini membuat material target lebih mudah mengalami reaksi kimia. (Mattox, 2010)

Proses tumbukan ion gas-gas sputter dengan material target merupakan prinsip utama metode *sputtering* ini. Beberapa fenomena yang mungkin terjadi sebagai akibat interaksi berkas ion *sputter* dengan material target adalah :

1. Ion gas *sputter* terpantul dan dapat menjadi netral dengan menangkap elektron *auger*
2. Atom target akan terpental keluar dan dapat disertai dengan elektron sekunder
3. Ion gas *sputter* yang memiliki energi tinggi dapat mengalami implantasi ke dalam target dan dapat mengakibatkan perubahan sifat dari material target
4. Elektron-elektron dalam plasma dapat terpantul oleh permukaan target.



Gambar 2.6 Skema Proses *Sputtering* dan Tumbukan Ion Pada Material Target
(Wolf, 1995)

Waktu dan tekanan merupakan parameter yang memegang peran penting dalam proses sputtering. Semakin lama waktu yang diperlukan untuk proses *sputtering*, maka akan semakin besar pula jumlah atom material target yang terlepas dan mengalami *sputter*. Banyaknya atom yang terpercik/*sputter* per satuan luas katoda secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut (Hayakawa, 1992):

$$W_0 = \frac{j_+ StA}{eN_A} \quad (2.5)$$

dengan,

- j_+ = rapat arus berkas ion (mA/cm²)
- S = *sputter yield* (atom/ion)
- t = waktu *sputtering* (detik)
- A = berat atom (amu)
- e = muatan elektron ($1,6 \times 10^{23}$ atom/mol)
- N_A = bilangan Avogadro

Sedangkan jumlah atom material target yang menempel pada substrat secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$W \cong k \frac{W_0}{pd} \quad (2.6)$$

- dengan, k = konstanta, rasio antara jari-jari katoda dan anoda
- W_0 = banyak partikel yang terpercik dari satuan luas katoda
- p = tekanan gas lucutan (Torr)
- d = jarak antara elektroda (m)

Laju pemindahan atom permukaan yang diakibatkan oleh penembakan ion disebut sebagai hasil *sputter* (S), yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S = \frac{\text{Atom yang dipindahkan}}{\text{Ion yang datang}} \quad (2.7)$$

Proses deposisi hingga membentuk lapisan tipis pada substrat merupakan bentuk transfer energi atau transfer momentum. Energi kinetik ion-ion positif yang tertarik ke material target berasal dari medan listrik akibat beda potensial yang diberikan. Agar proses deposisi dapat terjadi, maka besar energi kinetik ion-ion positif harus lebih besar daripada energi ikat (*binding energy*) material target. Besarnya energi yang dipindahkan

saat proses tumbukan dapat dirumuskan sebagai berikut (Hayakawa, 1992):

$$E_1 = \frac{4M_1 M_2}{(M_1 + M_2)^2} E_2 \quad (2.8)$$

dengan, E_1 = energi kinetik partikel penumbuk

M_1 = massa partikel penumbuk

M_2 = massa partikel target

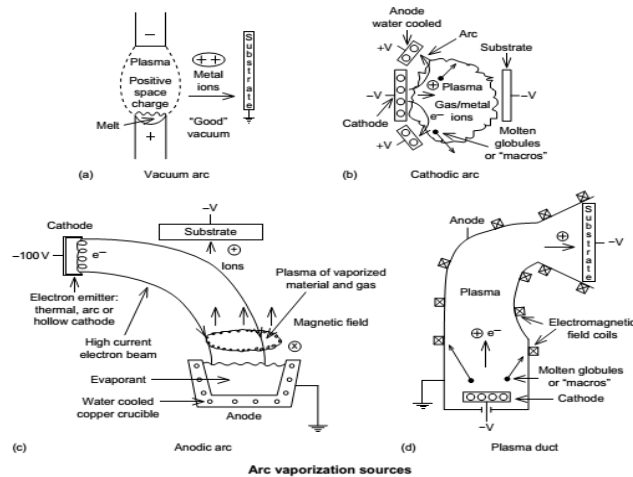
E_2 = energi yang ditransfer partikel dengan massa M_1 ke atom M_2

Adanya tumbukan dari ion-ion positif gas *sputter* sebesar E_1 menyebabkan atom-atom material target terlepas dan akibat adanya transfer momentum atom tersebut mengalami *sputter* atau terpercik ke segala arah utamanya menuju ke substrat. Karena proses tersebut berlangsung kontinyu selama waktu tertentu, proses pelapisan akan berlangsung terus sehingga terjadi interdifusi antar atom hingga membentuk suatu lapisan tipis di permukaan substrat.

3. *Arc Vapor Deposition*

Arc Vapor Deposition merupakan salah satu metode PVD dimana material target dipanaskan hingga mencapai fasa uap dengan menggunakan busur listrik sebagai sumber panasnya. Material target yang mengalami penguapan kemudian bergerak menuju substrat dan menempel di permukaan membentuk lapisan tipis.

Prinsip deposisi pada proses ini serupa dengan metode *vacuum deposition*, yang membedakan adalah sumber panas yang digunakan untuk menguapkan material target. Material target pada proses ini terlebih dahulu diionisasi begitu juga dengan material substrat yang diberikan beda potensial untuk dapat menimbulkan akselerasi ion-ion menuju ke permukaan substrat.



Gambar 2.7 Skema Kerja Arc Vapor Deposition Berdasarkan Sumber Arc Vaporization (a) Vacuum Arc, (b) Gaseous Cathodic Arc, (c) Anodic Arc, (d) Cathodic Arc with Plasma Duct (Mattox, 2010)

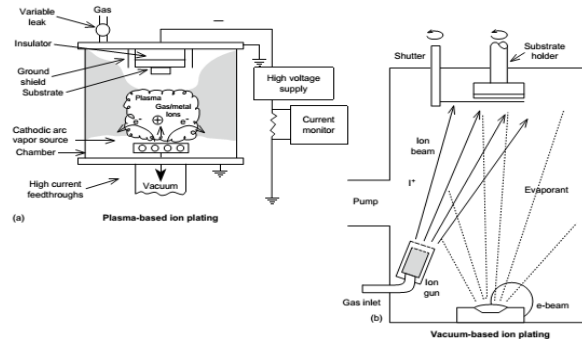
1. Ion Plating (Pelapisan Ion)

Ion plating atau dapat disebut juga sebagai *ion vapor deposition*. Proses ini menghasilkan lapisan tipis dengan menembakkan partikel-partikel berenergi tinggi yang berukuran skala atomik secara kontinyu maupun periodik ke material target. Proses penembakan material target sebelum terjadi deposisi dilakukan untuk membersihkan permukaan substrat. Dan selama proses deposisi, penembakan digunakan untuk memodifikasi dan mengontrol sifat dari lapisan yang diinginkan. Penembakan sangat penting untuk dilakukan secara kontinyu diantara proses *cleaning* dengan proses deposisi untuk memperoleh interface yang sangat bersih secara atomik.

Partikel yang digunakan untuk proses penembakan adalah ion-ion gas inert atau gas reaktif. *Ion plating* sendiri dapat dilakukan dalam lingkungan plasma dimana ion-ion penembak dihasilkan melalui plasma tersebut atau dapat dilakukan dalam ruangan vakum dimana ion-ion penembak dihasilkan dari *ion gun* secara terpisah.

Proses ini pertama kali dijelaskan oleh Donald M. Mattox dari *Sandia National Laboratories* di tahun 1964. Hingga kini proses ion

plating banyak digunakan untuk membentuk lapisan lindung pada material alat potong.



Gambar 2.8 Skema Kerja *Ion Plating* (a) *Plasma Based* dan (b) *Vacuum Based* (Mattox, 2010)

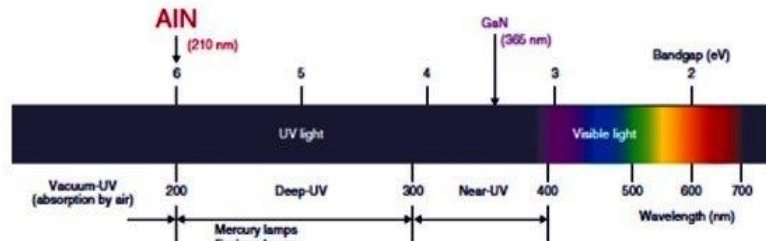
2.7 Aplikasi Golongan III-Nitrida



Gambar 2.9 Aplikasi Pemanfaatan Golongan III-Nitrida (Jeong, H,2009)

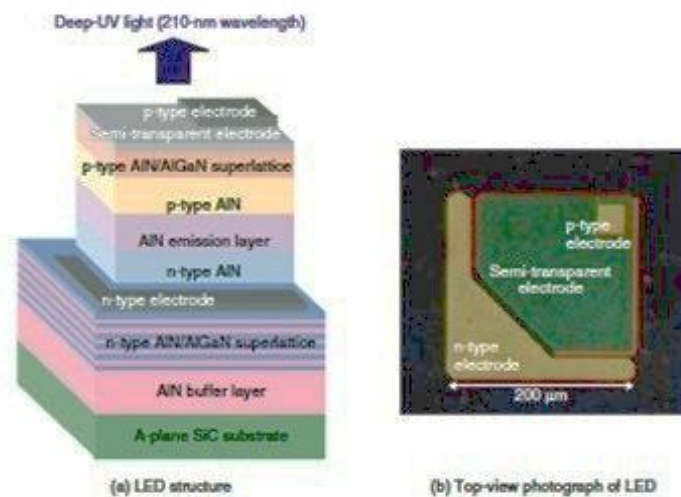
Ada banyak aplikasi pemanfaatan golongan III-Nitrida seperti pada Gambar 2.9 terutama untuk aluminium nitrida seperti pada solar sel, pelapis konduktif transparan, sensor gas, semikonduktor serta material elektro dan fotoluminesen. Pada semikonduktor bisa dimanfaatkan untuk perangkat biru LED, yang mana pada kondisi efisien penuh akan menampilkan warna panel datar, laser biru, detektor UV, sensor temperatur tinggi, dan radiasi sirkuit tahan untuk aplikasi ruang (Strite, dkk 1992). Biru laser LED dengan panjang gelombang yang lebih pendek mereka akan mengizinkan kepadatan perekaman yang lebih tinggi dari semua media berdasarkan teknologi laser, termasuk CD-ROM dan *Magnetic-*

Optic (MO) ,disk drive. Selain itu dapat dimanfaatkan pada UV-detektor yang memiliki berbagai aplikasi militer dan sipil dan suhu tinggi sensor yang diinginkan dalam kondisi ekstrim seperti mesin jet dalam.



Gambar 2.10 Aplikasi Pemanfaatan Senyawa AlN Sebagai Sumber Cahaya Ultraviolet (Taniyasu,2006)

Dalam semikonduktor seperti pada Gambar 2.10 cahaya yang dipancarkan ketika elektron (muatan negatif) dan lubang (muatan positif) bergabung. Panjang gelombang cahaya yang dipancarkan ditentukan oleh energi celah pita dari semikonduktor. Karena panjang gelombang emisi berbanding terbalik dengan energi celah pita, semikonduktor dengan tinggi energi celah pita memancarkan cahaya dengan panjang gelombang yang lebih pendek seperti pada Gambar 2.11

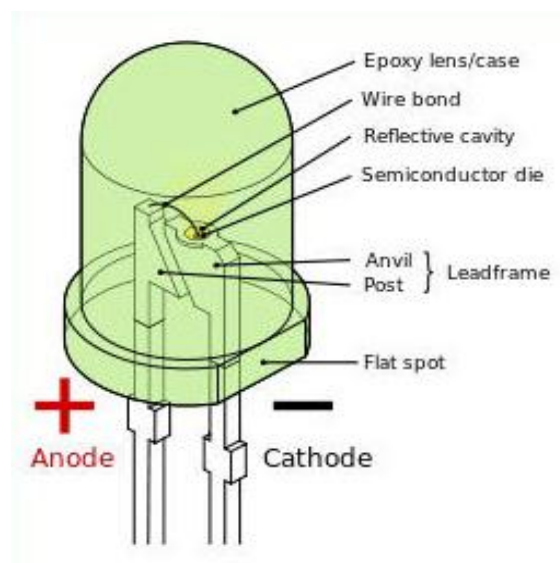


Gambar 2.11 Posisi A-plane AlN LED (Taniyasu,2006)

Untuk emisi sinar UV pada panjang gelombang 400 nm bawah, diperlukan semikonduktor dengan energi celah pita di atas 3 eV. Contohnya adalah Gallium nitrida (GaN), bahan yang digunakan untuk *highbrightness* LED dan LDS violet

biru untuk peralatan Blue-ray yang memiliki energi celah pita 3,4 eV. Seperti GaN, aluminium nitrida (AlN) struktur kristalwurtzite dengan celah pita yang lebar sekitar 6eV merupakan yang tertinggi di antara semikonduktor yang tersedia. Oleh karena itu, AlN secara teoritis diperkirakan memancarkan cahaya dengan panjang gelombang 210 nm, nilai terpendek antara semikonduktor. Panjang gelombang emisi AlGaIn, yang merupakan paduan terner dari AlN dan GaN dengan perubahan 210-365 sebagai komposisi paduan. Oleh karena itu AlN merupakan bahan kunci untuk aplikasi semikonduktor. Sampai saat ini, masih dikembangkan berbagai macam metode untuk meumbuhkan kristal AlN yang memiliki kualitas tinggi.

Adapun untuk efisiensi emisi rendah deep - UV AlN LED dibandingkan dengan dekat - UV GaN LED adalah bahwa AlN memiliki sifat emisi cahaya directional (kuat optik polarisasi), AlN dan GaN keduanya memiliki struktur kristal heksagonal yang dicirikan oleh c-kisi konstan dan a-kisi konstan. Karena AlN memiliki kekuatan ikatan dan ionitas yang lebih tinggi sehingga rasio antara c- dan a- kisi memiliki konstanta c/a , lebih kecil. Meskipun perbedaan c/a rasio antara AlN dan GaN hanya 1,5 %, yang perbedaan sifat emisi mereka besar karena sifat fisik semikonduktor sangat sensitif terhadap perubahan struktural Kristal (Bae,2013).

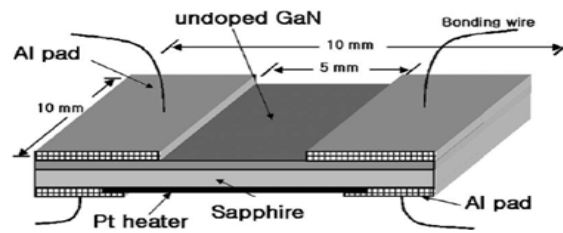


Gambar 2.12 Bagan *Light Emitting Diode* (LED) (Held,2009)

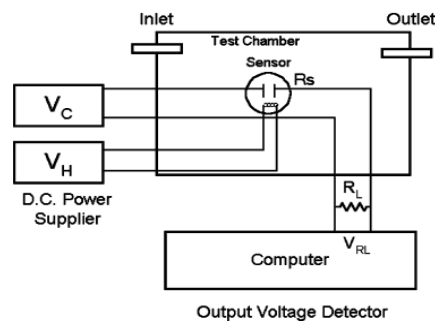
Semikonduktor berguna dalam bidang elektronik, karena konduktivitasnya dapat diubah-ubah dengan menyuntikkan material lain, atau disebut dengan *dopping*. *Dopping* adalah penambahan suatu bahan ke dalam semikonduktor dengan sengaja. Semikonduktor digunakan pula sebagai material penyusun LED. LED menghasilkan spektrum gelombang elektromagnetik yang terdiri dari sinar tampak dan sinar tidak tampak. Gambar 2.10 menggambarkan spektrum gelombang elektromagnetik dalam hal frekuensi dan panjang gelombang. Panjang gelombang dalam nanometer. Radiasi elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang 370-770 nm dapat terlihat oleh mata manusia (Held, 2009).

Keuntungan LED sebagai sumber cahaya adalah lebih murah, sedikit menghasilkan panas, namun kurang efisien dibandingkan dengan lampu pijar. Cahaya LED mempunyai sifat warna tertentu, dan tersedia pada *range* warna yang lebar, misalnya warna *bluish green* digunakan sebagai sinyal lalu lintas dan cahaya navigasi, selain itu, bisa digunakan dalam papan iklan (*advertising*), *backlight* monitor televisi, lampu dekorasi dan pemancar infra merah pada *remote control*.

Selain sebagai material penyusun LED, AlN juga menjadi divais elektronik yang cukup penting adalah sensor gas untuk memonitor gas-gas yang berbahaya seperti hidrogen (H_2), metana (CH_4), karbon monoksida (CO_2), asetilen (C_2H_2) dan nitrat oksida (NO_2) pada temperatur yang relatif tinggi. Untuk meningkatkan sensitivitas sensor gas diperlukan bahan semikonduktor yang memiliki celah pita energi yang lebar (6,02 eV), stabil secara termokimia pada temperature tinggi dan juga memiliki struktur celah pita energi dengan transisi langsung (*direct band-gap*). Keuntungan lain dari material ini adalah memiliki kestabilan kimiawi, mekanik dan termal yang tinggi, sehingga stabil dipergunakan pada kondisi lingkungan yang ekstrim. Untuk itu dalam penelitian ini dikaji potensi material AlN untuk aplikasi sensor gas. Selain AlN, material GaN juga dapat untuk menjadi pengaplikasian sensor gas. Contoh aplikasi pemanfaatan golongan III-Nitrida seperti pada gambar dibawah ini, merupakan pemanfaatan semikonduktor GaN sebagai sensor gas hidrogen.



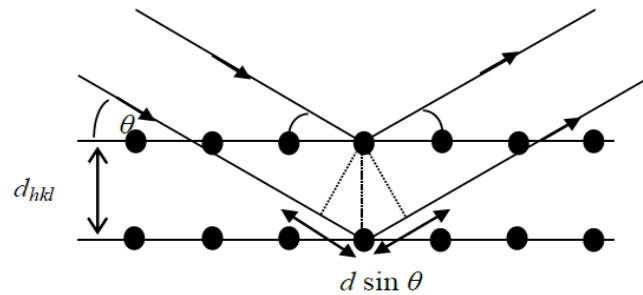
Gambar 2.13 Struktur Sensor Gas (Dae, 2003)



Gambar 2.14 Skema Pengukuran Sensitifitas Sensor Gas (Dae,2003)

2.8 Hasil Penelitian Sebelumnya Mengenai Pertumbuhan Kristal Alumunium Nitrida

Kristal merupakan susunan atom-atom yang teratur dalam ruang tiga dimensi. Keteraturan susunan tersebut terjadi karena kondisi geometris yang harus memenuhi adanya ikatan atom yang berarah dan susunan yang rapat. Difraksi sinar-X dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal dari suatu bahan semikonduktor. Atom-atom pada kristal yang ditumbuk oleh partikel yang ukurannya seorde dengan ukuran atom membuat partikel tersebut akan dipantulkan dengan sudut yang tidak dapat dipastikan arahnya sehingga menyebabkan terjadinya peristiwa hamburan atau difraksi. Pada Gambar 2.15 menjelaskan bahwa seberkas sinar-X dipantulkan dari himpunan bidang kristal yang berjarak antara d . Berkas sinar yang dipantulkan dari bidang kedua menempuh jarak $2d \sin \theta$ lebih panjang dari pada berkas yang dipantulkan dari bidang pertama, dengan θ adalah sudut datang yang diukur terhadap permukaan kristal.

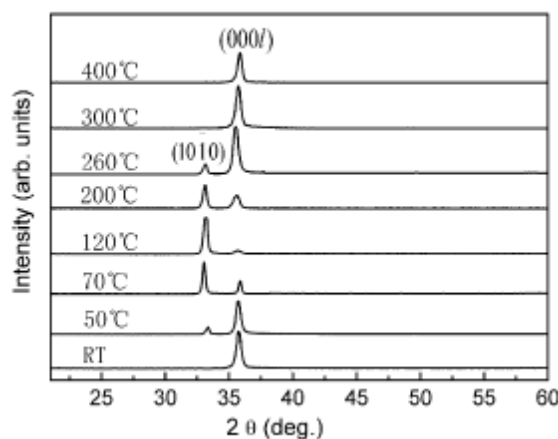


Gambar 2.15 Hamburan Sinar-X pada Kristal (Beisser,1999)

Sinar-sinar pantul yang sefase berbeda lintasan sebesar kelipatan bulat dari panjang gelombang akan menimbulkan interferensi saling menguatkan. Pemantulan dan interferensi bergabung menjadi difraksi. Difraksi akan saling menguatkan jika terpenuhi persamaan Bragg sebagai berikut

$$2d \sin\theta = n\lambda; n = 1, 2, \dots \quad (2.9)$$

Hasil tersebut dikenal sebagai hukum Bragg bagi difraksi sinar-X. Dengan d merupakan jarak antar bidang (hkl) untuk sebuah kristal, θ adalah sudut Bragg, λ adalah panjang gelombang radiasi, dan bilangan bulat $n = 1, 2, 3, \dots$



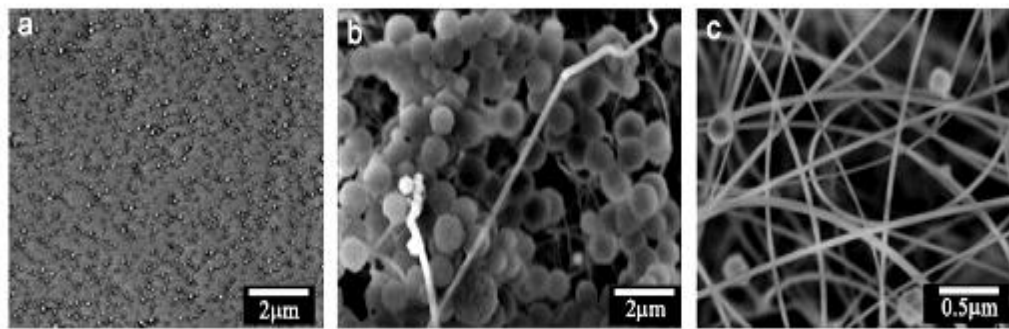
Gambar 2.16 Hasil Uji Karakterisasi XRD material AlN (Ji, 2005)

Kristal ideal ialah kristal yang setiap atomnya memiliki tempat kesetimbangan tertentu pada kisi yang teratur (Beiser, 1999). Susunan kristal pada

kenyataannya tidak selalu tersusun oleh atom-atom identik yang berulang di seluruh volumenya. Setiap kristal mengandung cacat (*defect*) yang kebanyakan terjadi pada kisi-kisi kristalnya. Cacat kristal ini kemungkinan terjadi selama proses pertumbuhan kristal, proses pemurnian atau proses laku (*treatment*), dan bahkan cacat kristal sengaja diciptakan untuk menghasilkan sifat-sifat tertentu. Cacat dalam suatu kristal terjadi ketika kehilangan atom, atom yang tidak pada tempatnya, kehadiran atom asing, dan sebagainya.

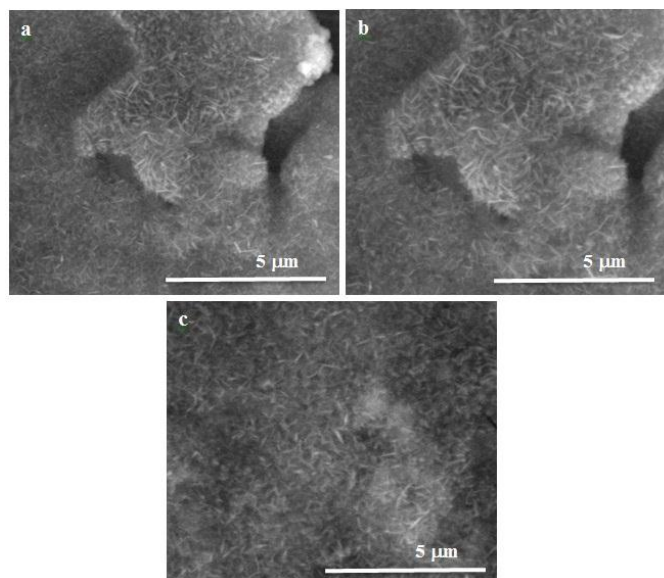
Cacat pada kristal semikonduktor dapat dikelompokkan sebagai berikut: (i) cacat titik, (ii) cacat garis, (iii) cacat planar, dan (iv) cacat ruang. Cacat kristal yang paling sederhana adalah cacat titik. Cacat titik atau sering disebut cacat alami dikelompokkan menjadi tiga yaitu kekosongan (*vacancy*), *self interstitial*, dan *antisite*. Dislokasi adalah jenis cacat kristal dimana sebaris atom tidak berada pada kedudukan yang seharusnya. Terdapat dua bentuk dasar dislokasi yaitu dislokasi tepi dan dislokasi sekrup. Cacat planar dan cacat ruang tidak begitu penting dalam kristal tunggal, tetapi menjadi sangat penting pada polikristal. *Grain boundary* adalah cacat permukaan pada material polikristal yang memisahkan grain dari orientasi yang berbeda. Bentuk grain boundary ditentukan oleh grain yang berdekatan. Dalam bentuk polikristal, film AlN terdeposit dengan orientasi Kristal sumbu-z tegak lurus substrat mempunyai sifat piezoelektrik. (Singh, 1995).

Pada gambar 2.16 dapat dilihat hasil uji X-Ray diffraction AlN dengan metode *Reactive Sputtering* yang dilakukan Ji dkk (2005). Disana dapat dilihat sudut Al dan AlN memiliki 2 puncak dengan intensitas maksimum 1800 cts. Pada uji XRD nilai intensitas berpengaruh terhadap banyaknya kristal yang terbentuk, karena semakin tinggi nilai intensitas ukuran kristal yang terbentuk juga semakin baik. Sedangkan nilai FWHM yang didapat mengidentifikasi terbentuknya ukuran kristal yang dihasilkan. Dilakukan pula pengujian *Scanning Electroscopy Microscope* (SEM) yang terlihat memiliki morfologi nanomaterial berbentuk nanowire.

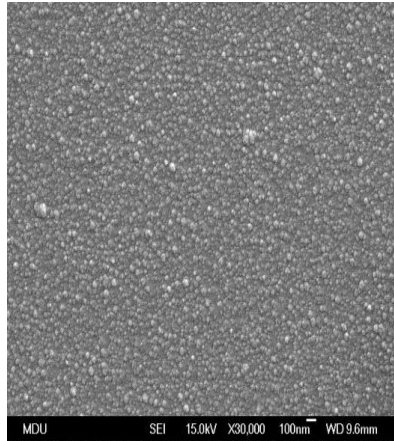


Gambar 2.17 Hasil SEM AlN Nanowire dengan katalis logam
(Yu, 2011)

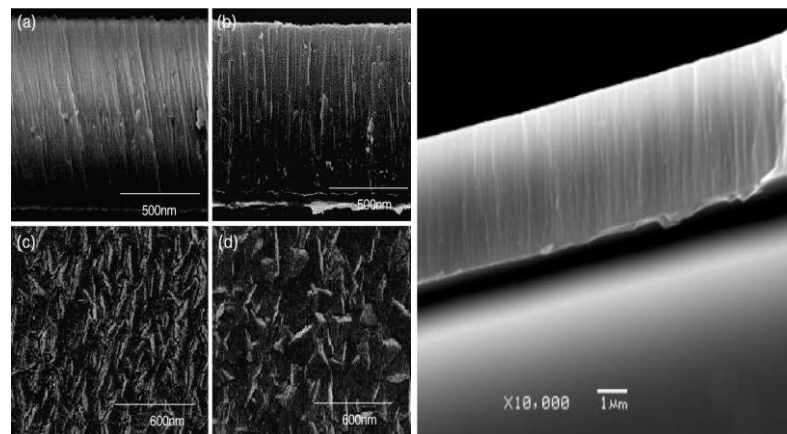
Hasil penelitian yang dilakukan oleh Yu didapatkan AlN yang terbentuk dengan metode CVD yang dilakukan di atas tiga substrat yang berbeda yaitu MO, Ni, dan Si dari penelitian yang dilakukan oleh Yu didapatkan AlN berbentuk nanowire yang terlihat jelas pada substrat Ni pada perbesaran 0,5 μm . Sedangkan pada substrat lain terlihat material AlN berupa senyawa yang teraglomerasi.



Gambar 2.18 Hasil SEM AlN dengan metode VLS dengan variasi temperatur dan *holding time* (Mavindra, 2016)

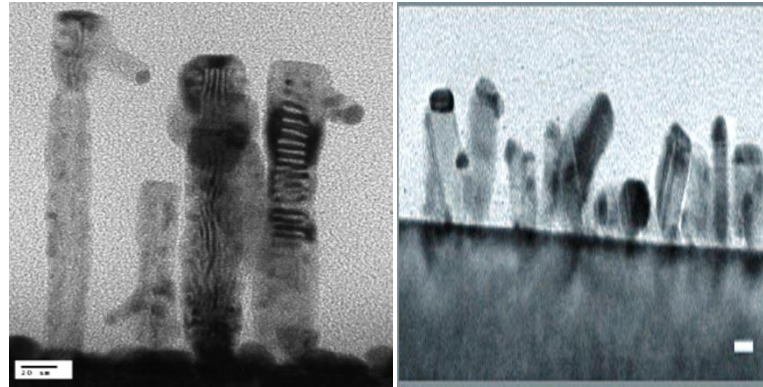


Gambar 2.19 Hasil SEM AlN dengan metode *Reactive Sputtering* dengan variasi tekanan nitrogen (Wu, 2016)



Gambar 2.20 Hasil FE-SEM (*cross section*) AlN menggunakan metode RF *Sputtering* (Mortet, 2010)

Sedangkan dari hasil pengujian FE-SEM pada penelitian Zhang (2010) dilakukan dengan metode VLS menggunakan temperature pertumbuhan 1300°C didapatkan partikel AlN berbentuk nano pada perbesaran $2\mu\text{m}$ yang mana secara morfologi AlN tumbuh memanjang tidak beraturan yang membentuk nanofiber.

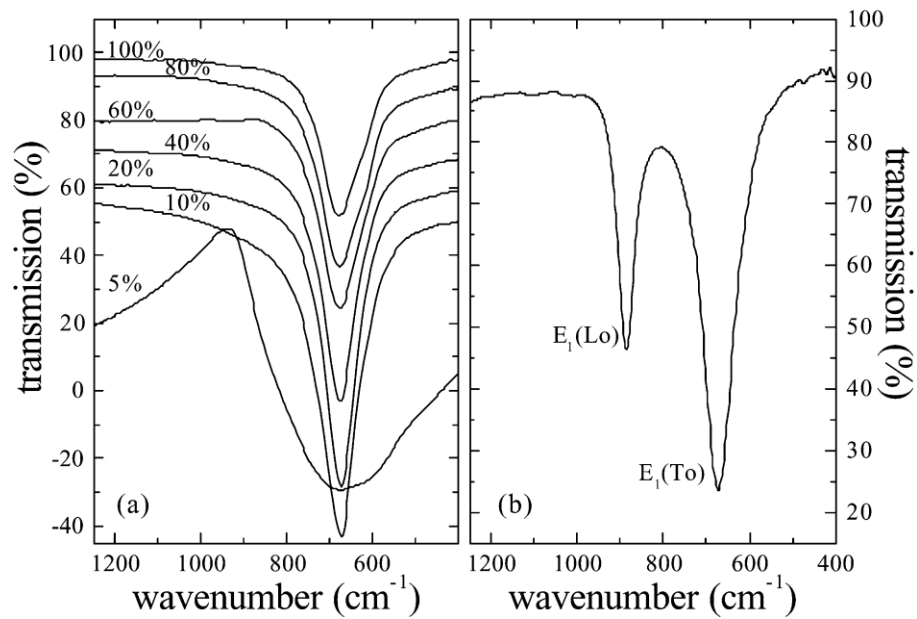


Gambar 2.21 Hasil Pencitraan TEM pada AlN menggunakan metode VLS
(Boles, 2010)

Selain pengujian SEM dan TEM, dari hasil pengujian aluminium nitrida juga dapat diketahui beberapa sifat optic dari pengujian karakterisasi *Fourier Transmission Infra Red* (FTIR). Pada penelitian AlN yang dilakukan Mortet, 2010 didapatkan AlN dengan lapisan polikristal c-axis yang mana dilakukan uji transmittansi dan reflektansi untuk mengetahui potensi panjang gelombang pada material AlN yang di aplikasikan pada alat elektroakustik. Besar kecilnya panjang gelombang yang diserap oleh suatu material bergantung pada energi gap yang dimiliki oleh material tersebut. Sehingga untuk mengetahui besarnya energi gap yang dimiliki, maka dapat menggunakan rumus di bawah ini,

$$E_g = \frac{hc}{\lambda_{int}} \quad (2.10)$$

Yang mana E_g adalah Energi Gap (eV), h adalah Konstanta Plank ($4,135 \times 10^{-6}$ eV.nm), c adalah Kecepatan Cahaya (3×10^8 m s⁻¹), dan λ_{int} adalah Panjang gelombang.



Gambar 2.22 Hasil uji FTIR AlN struktur Hexagonal dengan substrat Si dengan variasi tekanan nitrogen (Mortet,2010)

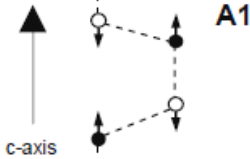
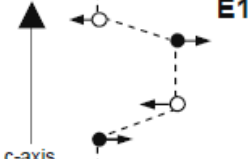
2.4 Tabel Hasil Range ikatan senyawa pada thin film AlN

No	Range (Wavenumber cm ⁻¹)	Ikatan Senyawa
1	400-600	Al-O
2	600-800	Al-N
3	800-1000	Si-O-Si
4	1200-1500	C-N
5	1500-1800	C-O Bending
6	2000-2200	N-Al-N
7	2300-2500	C=N

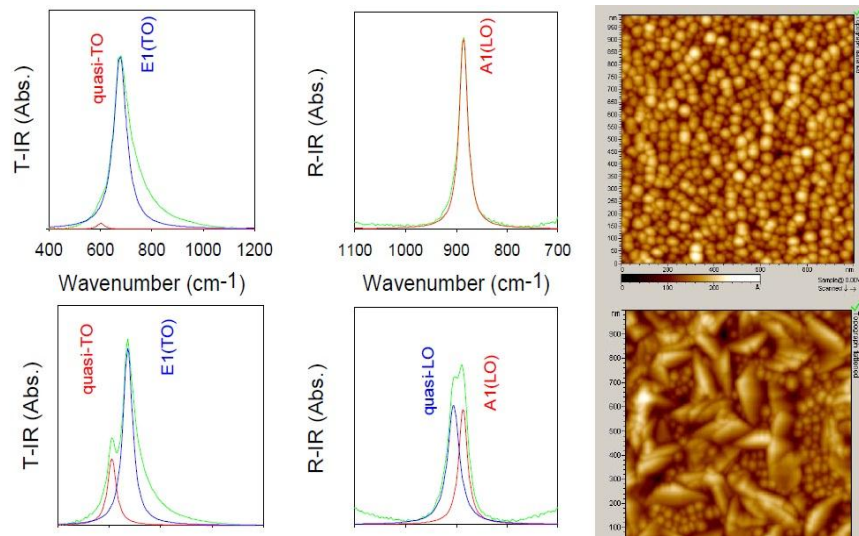
Sumber: Mortet, 2010

Adapun AlN yang di sintesis menggunakan substrat SiO₂ pada Gambar 2.21 didapatkan struktur kristal AlN dalam bentuk hexagonal yang memiliki 2 mode (A1 dan E1) infra merah aktif yang berarti termasuk dalam mode polar

dengan pembagian *longitudinal optical* (LO) dan *transverse optical* (TO) yang mana muncul pada panjang gelombang 900cm^{-1} dan 660 cm^{-1} . Untuk potensi zona LO dan TO dapat dilihat pada gambar 2.21 bahwa zona LO berada pada panjang gelombang $800\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ sedangkan zona TO berada pada panjang gelombang $600\text{-}700\text{ cm}^{-1}$. Pada zona TO merupakan zona pada area cahaya tampak yang dekat dengan transmisi dibanding dengan reflektansi. Panjang gelombang pada zona TO menandakan suatu senyawa anorganik yang memiliki gelombang transversal begitu pula dengan zona LO yang panjang gelombang pada area tersebut potensi dimanfaatkan untuk karakterisasi gelombang longitudinal (Mortet, 2006). Sedangkan gambar 2.21 merupakan skema representasi magnetisasi yang melibatkan penyerapan infra merah untuk dua mode (TO dan LO) yang memiliki cabang A1 dan E1. E adalah arah dari medan listrik yang di induksikan pada vibrasi ikatan polar. Sedangkan q adalah vektor propagasi phonon, E_v adalah medan listrik foton dan k adalah gelombang vector dengan cahaya transmisi yang mana di asumsikan pada permukaan AlN adalah horizontal (Sanz, 2003).

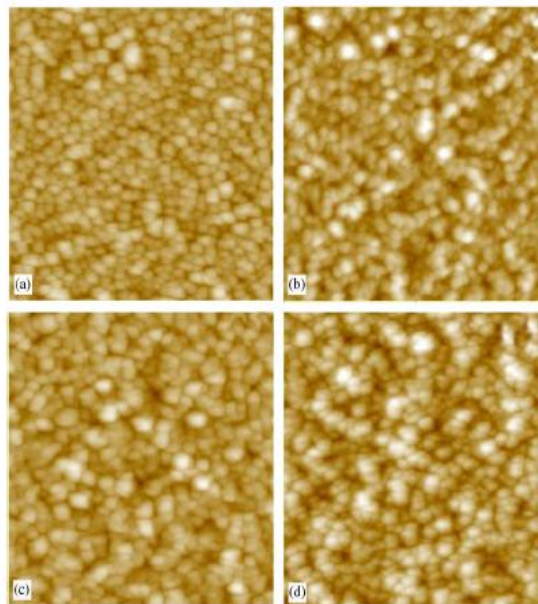
	TO	LO
 <p>A1</p>	$\uparrow E$ $\downarrow q$	$\uparrow E$ $\rightarrow q$
 <p>E1</p>	$\leftarrow E$ $\downarrow q$	$\leftarrow E$ $\rightarrow q$
Photon inside AlN	$\leftarrow E_v$ $\downarrow k$	$\uparrow E_v$ $\rightarrow k$

Gambar 2.23 Skema Representasi Infra Merah Senyawa Anorganik (Iborra,2006)



Gambar 2.24 Hasil Pengujian Transmittansi, Reflektansi dan AFM pada AlN (Iborra, 2006)

Pada penelitian Iborra (2006) juga dilakukan karakterisasi uji AFM seperti pada Gambar 2.24 dengan ketinggian yang didapatkan sebesar 50 nm. Pada penelitian Ji pada tahun 2005 juga dilakukan karakterisasi uji AFM seperti pada Gambar 2.25 dengan ketinggian yang didapatkan sebesar 62,5nm - 105 nm yang mana pada material semikonduktor pada AFM semakin rendah tingkat kekasaran maka semakin baik pula untuk digunakan sebagai *device electronic* (Van Planck,2009).



Gambar 2.24 Hasil Pengujian AFM pada AlN dengan Variasi temperatur 200°C, 300°C, 400°C dan 500°C (Ji, 2005)

2.9 Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya

Banyak penelitian yang membahas tentang nanomaterial dan metode sintesisnya, untuk berbagai macam pertumbuhan AlN dalam bentuk *nanowires*, *nanowhiskers*, *thin film*, dan sebagainya. Berikut ini adalah data penelitian yang didapatkan dari beberapa jurnal ilmiah.

Zhonqi Shi, dkk (2014) dengan metode *combustion synthesis*, dapat menumbuhkan AlN nanowhiskers dengan struktur heksagonal dengan adanya katalis logam. Metode ini mempunyai beberapa keunggulan dalam menumbuhkan struktur 1D AlN nanowhiskers, antara lain: proses yang sederhana, ramah lingkungan dan hemat energi.

Zhang, dkk (2010) dengan metode *Vapor-Liquid-Solid* (VLS) meneliti tentang Nanopartikel dan nanofibers AlN disintesis oleh proses nitridasi dari dedakberas giling, sebuah produk dari pertanian yang banyak tersedia, dan dicampur dengan serbuk Al. Morfologi dari produk yang dihasilkan berbeda, tergantung dari tekanan dan kompresi yang diberikan. Pada penelitian ini, menggunakan tekanan N₂ 320 MPa dan 480 MPa. Dengan Pertumbuhan serat AlN berhubungan erat dengan metode VLS.

Hue Min Wu (2011) dengan metode *Chemical Vapor Deposition* (CVD) melakukan proses penumbuhan kristal tunggal pada AlN ini dilakukan dengan serbuk aluminium yang mana substrat terlebih dahulu di bersihkan menggunakan ethanol lalu di coating menggunakan Ni sebagai katalis. Setelah itu ditempatkan pada furnace pada suhu 1200°C setelah itu dialiri ammonia 10 sccm.

Mavindra (2015) dengan metode *Vapor Liquid Solid* (VLS) melakukan proses penumbuhan kristal AlN dengan menggunakan serbuk aluminium pada substrat SiO₂ yang telah di *sputtering* dengan Pd/Au selama 30 menit. Setelah itu combustion boat ditempatkan pada furnace kemudian dialiri argon sampai suhu 400°C dan selanjutnya dialiri nitrogen sampai pada suhu 1000°, 1100° dan 1200°C dengan masing-masing variasi holding time pertumbuhan 30, 45 dan 60 menit.

Ice Trianza (2015) dengan metode *Vapor Liquid Solid* (VLS) melakukan proses penumbuhan kristal AlN dengan menggunakan serbuk aluminium dengan variasi massa 0.1, 0.03 dan 0.05 gram pada substrat SiO₂ yang telah di *sputtering* dengan Pd/Au selama 30, 45 dan 60 menit. Setelah itu combustion boat ditempatkan pada furnace kemudian dialiri argon sampai suhu 400°C dan selanjutnya dialiri nitrogen sampai pada suhu 1100°C.

Sedangkan Wei, dkk (2014) dengan metode RF Reactive Sputtering melakukan proses penumbuhan kristal AlN pada substrat Si yang terlebih dulu dibersihkan menggunakan ethanol dan oksida pada Si dihapus melalui etsa dengan HF selama 10s, dengan kekuatan sputtering 200 W. Jarak antara target dan substrat 30 mm, dengan rasio Ar dan N₂ 1:1 kemudian diberikan tekanan yang berbeda 0,20, 0,30 dan 0,55 Pa selama 1 jam.

Lee, dkk (1995) berhasil menumbuhkan film Aluminium nitrida (AlN) menggunakan RF *magnetron sputtering* dalam campuran gas argon, nitrogen dan hidrogen. Lapisan film AlN dengan orientasi (002) ditumbuhkan pada kondisi deposisi (kekuatan RF dari 200 W, tekanan sputtering dari 0,7 Pa (5mTorr), dan konsentrasi nitrogen dari 25%) dan orientasi perubahan pertumbuhan ke orientasi campuran (100) dan (110) dengan ditambahkan gas hidrogen pada substrat Si (100).

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Silikon dioksida (SiO_2) (100)

Silikon dioksida (SiO_2) digunakan sebagai substrat dengan dimensi 10 mm \times 5 mm untuk tempat pertumbuhan nanomaterial AlN.

2. Material target Aluminium

Material target aluminium (Al) keluaran INC yang digunakan merupakan milik Pusat Sains dan Teknologi Akselerator BATAN dan memiliki kemurnian 99% berukuran diameter 75 mm dan tebal 5 mm.

3. Material target Au

Material target Au (kemurnian 70 %) yang digunakan merupakan milik Pusat Sains dan Teknologi Akselerator BATAN dan memiliki ukuran diameter 75 mm dan tebal 2 mm.

4. Larutan Etanol

Larutan etanol dengan kemurnian 90% digunakan untuk mencuci substrat SiO_2 yang akan digunakan.

5. Larutan aseton

Larutan etanol dengan kemurnian 90% digunakan untuk mencuci substrat SiO_2 yang akan digunakan.

6. Gas argon (Ar)

Gas argon (Ar) dari Samator dengan kemurnian 99,99% . Gas argon merupakan elemen penting dalam metode PVD. Gas argon berperan sebagai gas yang akan dilucutkan untuk kemudian membentuk ion-ion argon berenergi tinggi dan menumbuk material target hingga atom-atom pada permukaan material target terlepas dan menuju ke substrat.

7. Gas nitrogen (N_2)

Gas nitrogen (N_2) dari Samator dengan kemurnian 99,99% berfungsi sebagai gas reaktif pada saat proses sputtering berlangsung untuk membentuk nanomaterial AlN.

3.2 Peralatan Penelitian

Peralatan penunjang yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Diamond Cutting Tool*

Digunakan untuk memotong substrat SiO_2 dengan dimensi 10 mm x 5 mm.

2. *Sputtering*

Sputtering merupakan salah satu metode dari PVD. Alat *sputtering* yang digunakan pada penelitian ini merupakan milik Pusat Sains dan Teknologi Akselerator BATAN. Alat ini memiliki beberapa bagian diantaranya adalah:

- Tabung reactor plasma
- Sistem vakum
- Sistem pendinginan
- Sumber tegangan DC/RF
- Sistem pemasukan gas



Gambar 3.1 Alat *Sputtering* PSTA-BATAN

3. Scanning Electron Microscope (SEM) dan EDX

Alat SEM digunakan untuk karakterisasi morfologi permukaan pertumbuhan nanomaterial. SEM yang digunakan adalah SEM FEI S50 dengan perbesaran maksimum hingga 15.000x dan juga dilengkapi dengan EDX untuk mengetahui komposisi unsur dalam nanomaterial AlN.

Cara kerja SEM pada Gambar 3.2 adalah dengan menembakkan elektron dari *electron gun* lalu melewati *condensing lenses* dan pancaran elektron akan diperkuat dengan sebuah kumparan, setelah itu elektron akan difokuskan ke sampel oleh lensa objektif yang ada dibagian bawah. Pantulan elektron yang mengenai permukaan sampel akan ditangkap oleh *back scattered electron detector* dan *secondary electron detector* yang kemudian diterjemahkan dalam bentuk gambar pada display. Hasil yang dapat terlihat di layar CRT yaitu :

- a. Morfologi, yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek
- b. Komposisi, yaitu data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek.
- c. Jika dikombinasikan dengan sistem EDX/EDS (*Energy Dispersive X-Ray/ Energy Dispersive Spectroscopy*)
- d. Informasi kristalografi, yaitu informasi mengenai bagaimana susunan dari butir-butir di dalam objek yang di amati.



Gambar 3.2 Alat Uji SEM FEI S50

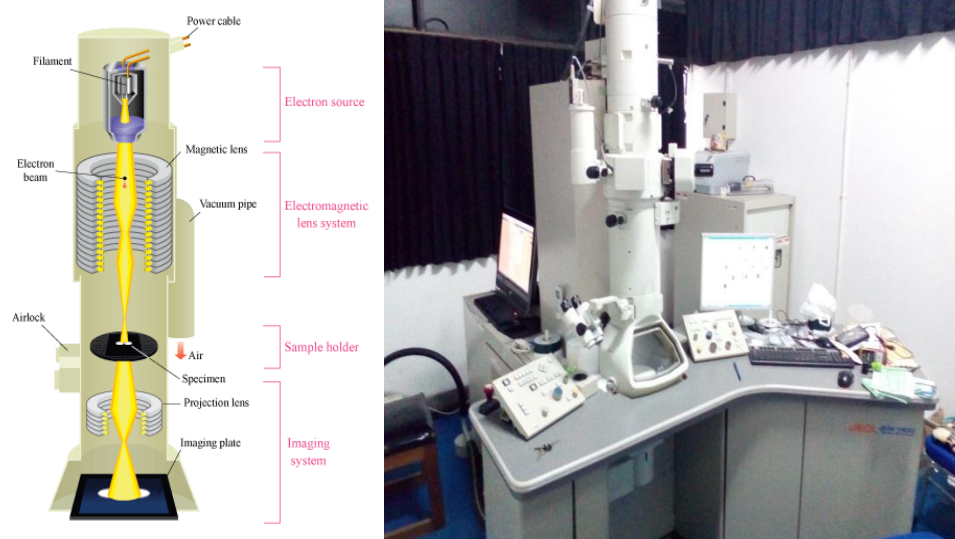
Langkah- langkah dari pengujian SEM ini adalah:

1. Mempersiapkan sampel uji yang akan di SEM
2. Membersihkan permukaan sampel uji
3. Meletakkan sampel uji pada holder dengan menempelkan karbon tipe terlebih dahulu sebagai perekat
4. Memasukkan sampel uji kedalam mesin SEM
5. Hasil yang diperoleh akan ditampilkan di layar komputer.

4. Transmission Electron Microscope (TEM)

Pengujian TEM ini adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui morfologi, struktur kristal dan komposisi spesimen. TEM menyediakan resolusi lebih tinggi dibandingkan SEM, dan dapat memudahkan analisis ukuran atom (dalam jangkauan nanometer) menggunakan energy berkas electron sekitar 60-350 keV. Informasi struktural diperoleh dengan pencitraan resolusi tinggi dan difraksi elektron.

Cara kerja dari TEM secara singkat adalah sinar elektron mengiluminasi spesimen dan menghasilkan sebuah gambar di atas layar paspor. Gambar dilihat sebagai sebuah proyeksi dari spesimen.

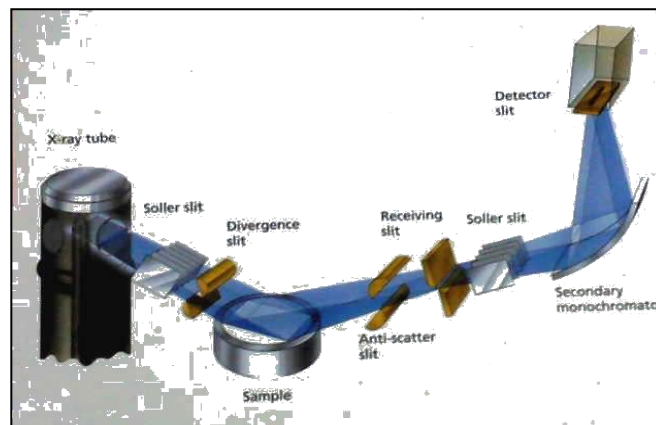


Gambar 3.3 (a)Skema Alat Kerja pada TEM, (b) Alat TEM JEOL-1400

5. X-Ray Diffraction (XRD)

Pengujian XRD ini adalah sebuah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui senyawa atau unsur (analisis kualitatif) yang terbentuk, penentuan komposisi (analisis kuantitatif), penentuan struktur kristal pada sampel, dan lain-lain. Data hasil pengujian ini berupa grafik puncak intensitas terhadap sudut 2 theta (2θ). XRD yang digunakan pada penelitian ini adalah XRD X'Pert PANalytical Cu $K\alpha$. Mesin XRD PANalytical yang akan digunakan telah tersedia di Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS. Alat XRD yang akan digunakan ditunjukkan seperti pada Gambar 3.5.

Pengujian XRD memanfaatkan difraksi dari sinar-X. Secara umum prinsip kerja XRD dapat dilihat pada gambar 3.4. Generator tegangan tinggi berfungsi sebagai pembangkit daya sumber sinar-X pada bagian x-ray tube. Sampel berbentuk serbuk yang telah dimampatkan diletakkan diatas wadah yang dapat diatur posisinya. Lalu berkas sinar-X ditembak ke sampel dan didifraksikan oleh sampel, masuk ke alat pencacah. Intensitas difraksi sinar-X ditangkap oleh detektor dan diterjemahkan dalam bentuk kurva.



Gambar 3.4 Skema Kerja XRD (PANalytical.com)



Gambar 3.5 Alat Uji X'Pert PANalytical XRD

Tahapan untuk melakukan pengujian ini sebagai berikut:

1. Serbuk sampel diletakkan pada holder, dan diletakkan agar kompak. Supaya penembakan dengan XRD sesuai dengan yang diharapkan, oleh karena itu preparasi spesimen harus memiliki permukaan rata pada holder.
2. Holder diletakkan ke dalam mesin XRD, setting pengukuran sudut dilakukan dengan rentang 20-80 °.
3. Data tampil pada layar computer berupa grafik horizontal dengan puncak- puncak grafik pada sudut tertentu.

Ukuran kristal dapat dihitung dengan menggunakan hasil XRD dapat menggunakan persamaan Scherrer, sebagai berikut:

$$d = \frac{K\lambda}{\beta(\cos\theta)} \quad (3.1)$$

Dimana λ merupakan panjang gelombang (1,54 Å) yang digunakan saat pengujian XRD, β merupakan setengah lebar dari puncak tertinggi (FWHM) pada hasil grafik XRD, θ adalah sudut Bragg, dan K merupakan konstanta K.

Parameter kisi dari XRD dapat menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{3}{4} \left[\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right] + \frac{l^2}{c^2} \quad (3.2)$$

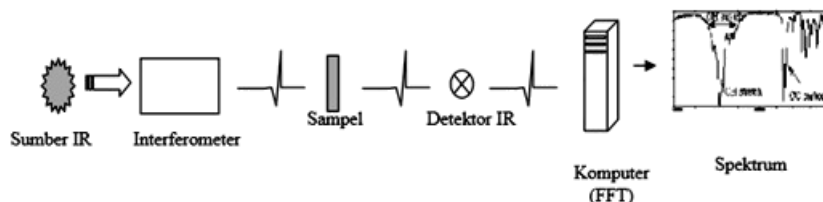
Dimana d_{hkl}^2 merupakan nilai jarak kristal, hkl merupakan indikasi milles untuk gambar XRD sampel. Setelah mendapatkan nilai parameter kisi dapat juga menghitung volume unit kristal menggunakan persamaan dibawah ini:

$$V_{cell} = 0.8666 \alpha^2 c \quad (3.3)$$

6. Pengujian *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui informasi terkait ikatan kimia yang ada pada AlN. Ikatan kimia tersebut diindikasikan dengan puncak-puncak yang berbeda. Serapan cahaya oleh molekul tergantung pada struktur elektronik dari molekul tersebut (Jatmiko dkk, 2008).

Prinsip kerjanya seperti gambar 3.6 adalah berdasarkan penyerapan sinar inframerah oleh suatu senyawa dimana energi yang diserapnya mengakibatkan atom-atom yang terikat pada molekulnya mengalami vibrasi tereksitasi dan untuk jenis vibrasi dari tipe ikatan yang berbeda akan menyerap radiasi inframerah pada panjang gelombang yang berbeda pula. Informasi serapan ini diteruskan ke rekorder yang menghasilkan spektrum berwujud gambar/grafik.



Gambar 3.6 Skema Kerja Alat FTIR

- Sumber radiasi digunakan radiasi LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*).
- Detektor yang digunakan dalam Spektrofotometer FTIR adalah *Tetra Glycerine Sulphate* TGS atau *Mercury Cadmium Telluride* (MCT).

Disini jika inframerah dilewatkan melalui sampel senyawa organik, maka terdapat sejumlah frekuensi yang diserap dan ada yang diteruskan atau ditransmisikan tanpa diserap. Serapan cahaya oleh molekul tergantung pada struktur elektronik dari molekul tersebut. Molekul yang menyerap energi tersebut terjadi perubahan energi vibrasi dan perubahan tingkat energi rotasi. Untuk senyawa anorganik dapat diketahui phonon mode yang menunjukkan karakteristik dari panjang gelombang yang dihasilkan seperti gelombang transversal dan gelombang longitudinal. Sedangkan pada senyawa organik dalam ikatan diam, setiap ikatan mempunyai frekuensi karakteristik untuk terjadinya vibrasi ulur (*stretching vibrations*) dan vibrasi tekuk (*bending vibrations*) dimana sinar inframerah dapat diserap pada frekuensi tersebut. Energi ulur (*stretch*) suatu ikatan lebih besar dari pada energi tekuk (*bend*) sehingga serapan ulur suatu ikatan muncul pada frekuensi lebih tinggi dari ikatan yang sama (Mikrajuddin, 2009)

Oleh sebab itu, spektroskopi inframerah dapat digunakan untuk identifikasi analisa secara kualitatif dari tiap material yang berbeda. Ukuran puncak yang terbentuk dalam spektrum juga memberikan indikasi langsung dari jumlah ikatan atom pada suatu sampel. Gambar 3.6 merupakan mesin FTIR *Thermo Scientific iS10* yang digunakan dalam penelitian ini dan tersedia di Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS.



Gambar 3.7 Alat Uji Mesin FTIR *Thermo Scientific iS10*

Langkah- langkah yang dilakukan pada pengujian ini adalah sebagai berikut :

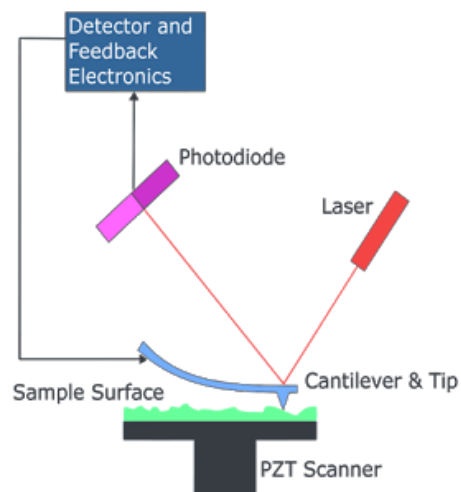
1. Preparasi Spesimen
2. Meletakkan spesimen pada papan objek
3. Detektor akan mengukur signal interferogram
4. Signal terukur akan diterjemahkan dalam bentuk digital dan dikirim ke komputer ketika transformasi Fourier terjadi
5. Pembacaan spektrum infrared

7. *Atomic Force Microscope*(AFM)

Atomic Force Microscopy (AFM) adalah suatu alat untuk melihat, memanipulasi atom-atom di dimensi nano. Bahan berstruktur nano merupakan bahan yang memiliki paling tidak salah satu dimensinya berukuran <100 nm. AFM telah banyak digunakan dalam menyelidiki struktur, fungsi serta kekasaran suatu material. Selain itu, dengan AFM dapat diperoleh informasi dan gambar 3D morfologi dari permukaan sampel. AFM yang digunakan adalah NEOS N8 milik Laboratorium Energi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. NEOS N8 menggabungkan mikroskop optik dan *Scanning Probe Microscopy* (SPM) dalam satu system set up. Kombinasi ini menghasilkan produktivitas tinggi pada pemeriksaan permukaan dengan resolusi yang tinggi.



Gambar 3.8 Alat Uji *Atomic Force Microscope*(AFM) NEOS N8



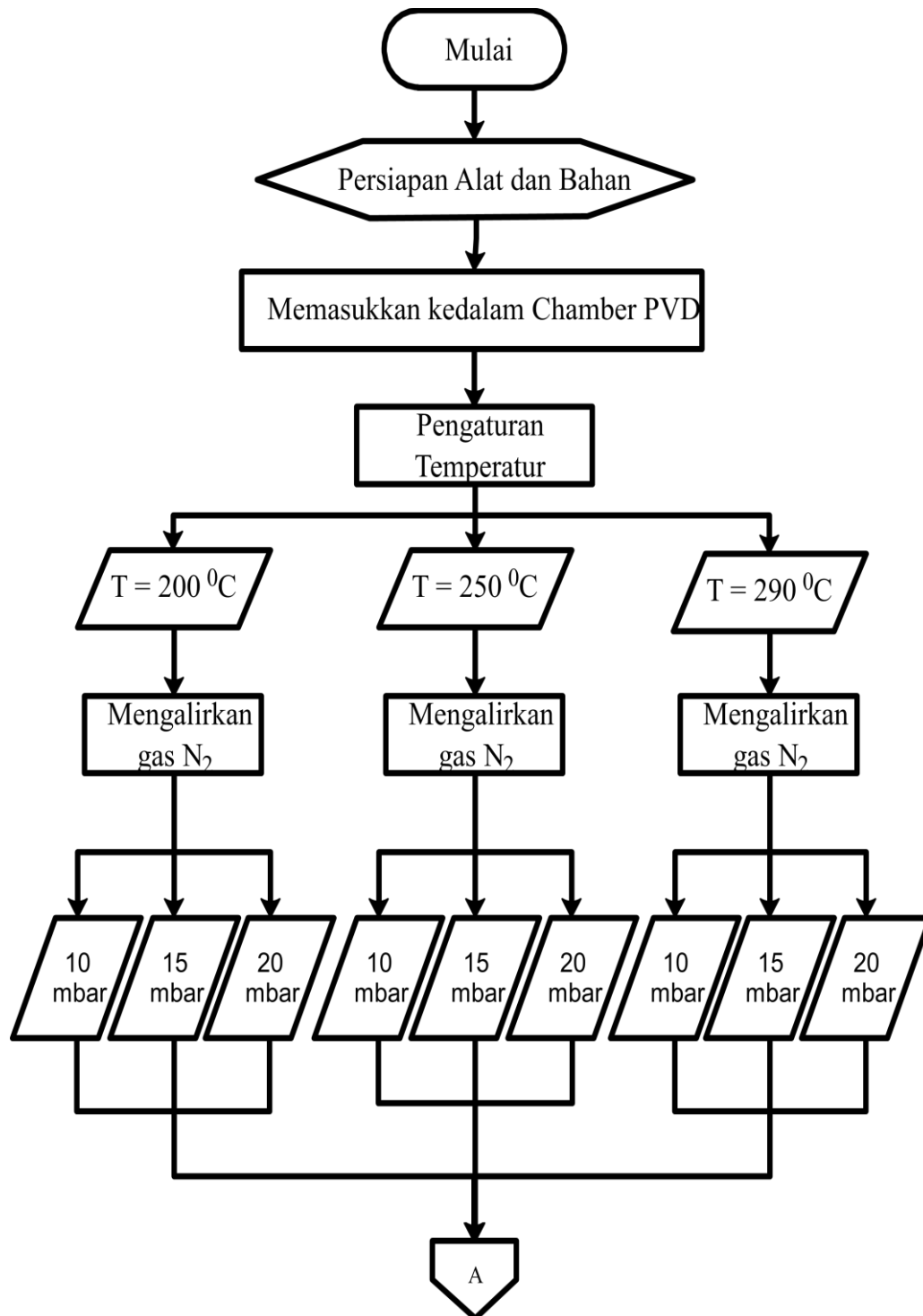
Gambar 3.9 Skema Kerja Alat Uji AFM

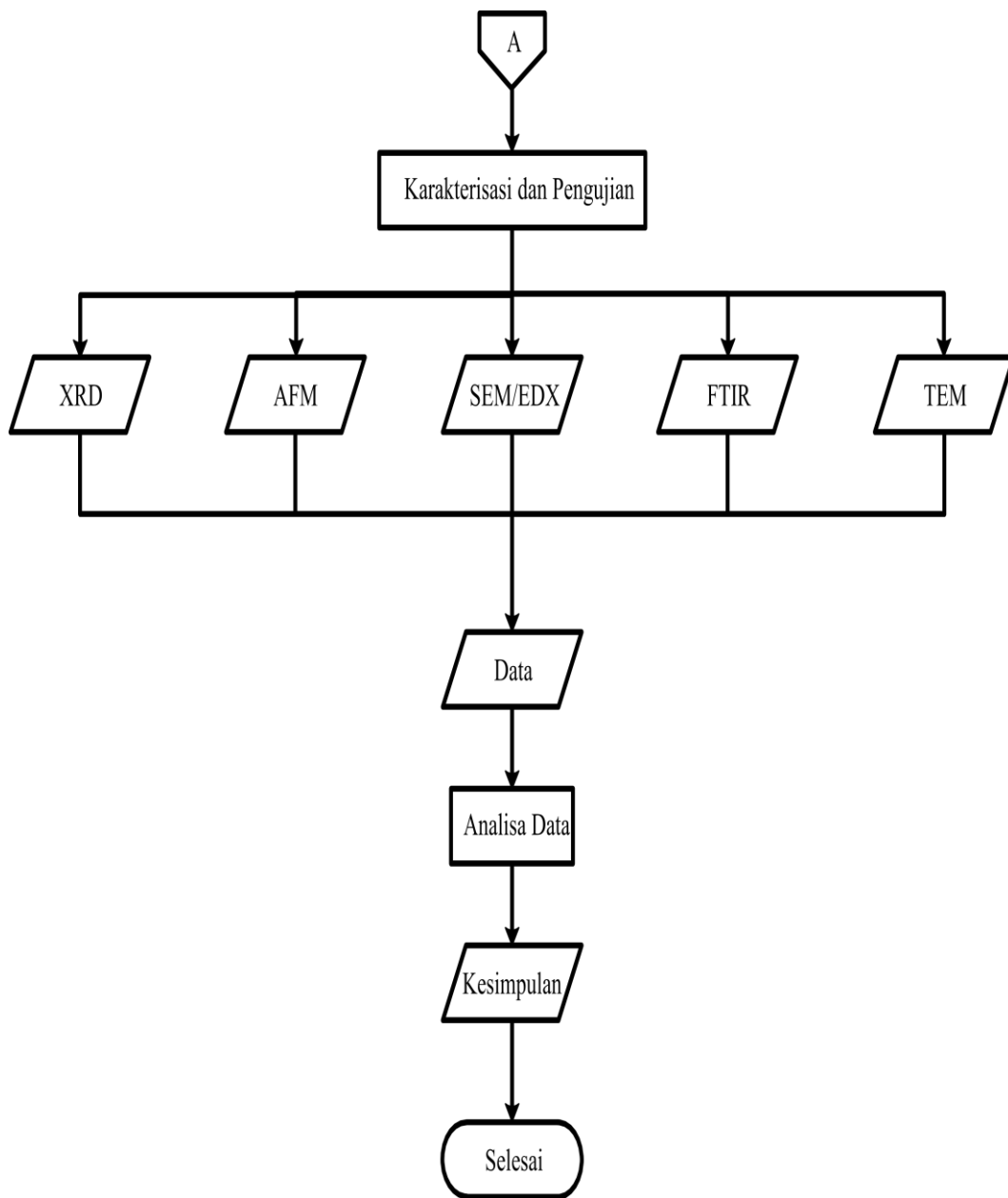
3.3 Rancangan Penelitian

Tabel 3.1 Penelitian Analisis Pengaruh Penumbuhan Aluminium Nitrida dengan variabel temperatur dan laju aliran nitrogen.

Spesimen	Temperatur Substrat (°C)	Tekanan Gas Nitrogen (mbar)	Pengujian					
			XRD	SEM	FTIR	EDX	AFM	TEM
1	200	10	√	√	√		√	
2		15	√	√	√		√	
3		20	√	√	√	√	√	
1	250	10	√	√	√		√	
2		15	√	√	√		√	
3		20	√	√	√	√	√	
1	290	10	√	√	√		√	
2		15	√	√	√		√	
3		20	√	√	√	√	√	√

3.4 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.10 Diagram Alir Proses Sintesis Aluminium Nitrida (AlN)

3.5 Prosedur Penelitian

Untuk mendapatkan hasil yang baik dalam penelitian ini, dilakukan beberapa tahapan penelitian untuk membentuk nanomaterial AlN pada substrat SiO₂. Tahapan-tahapan tersebut diantaranya:

3.5.1 Preparasi Spesimen Substrat SiO₂

Material SiO₂ disimpan dalam wadah tertutup. SiO₂ sebagai substrat dari pertumbuhan aluminium nitrida (AlN). Material SiO₂ dipotong dengan ukuran 1 cm x 0,5 cm menggunakan *diamond cutting tools*. Dalam proses pemotongannya, harus menggunakan sarung tangan, agar spesimen tetap steril. Selanjutnya material SiO₂ dicuci dengan ethanol dan aseton, kemudian dikeringkan, di suhu ruangan.

3.5.2 Proses *Sputtering* Substrat SiO₂ dan Penumbuhan AlN

SiO₂ sebagai substrat *sputtering* dengan *sputtering* menggunakan Au untuk katalis pertumbuhan AlN yang merata pada substrat SiO₂ selama 10 menit. Variabel waktu bisa digunakan dalam alat *sputtering*, antara lain 1 menit atau 2 menit, tergantung pada kebutuhan. Fungsi dari *sputtering* Au untuk memberi lapisan pada substrat SiO₂ agar ion-ion dari pelat aluminium dan gas nitrogen bisa menempel dan tumbuh sebagai nanomaterial aluminium nitrida.

Substrat SiO₂ dimasukkan ke dalam chamber PVD dan diletakkan pada holder yang disiapkan pada anoda, sedangkan untuk pelat Au dan pelat Al diletakkan pada katoda. Pertama chamber dan furnace di setting dengan pendeposisian untuk *sputtering* SiO₂ dengan Au, kemudian mengalami vakum selama 15 menit dengan besar tekanan vakum 4×10^{-2} Barr. Pendeposisian substrat SiO₂/Au dilakukan selama 10 menit. Setelah itu alat disetting untuk *sputtering* material target Aluminium murni (75 mm) ke permukaan substrat SiO₂ /Au dengan waktu pendeposisian 15 menit, tanpa mengeluarkan substrat dan material target agar tetap dalam kondisi vakum. Alat diatur dengan kenaikan 10 °C/min untuk temperatur 200, 250 dan 290 °C, kemudian shalter pada chamber dibuka saat

sudah terbentuk plasma, kemudian dialiri gas nitrogen dengan variasi tekanan nitrogen 10, 15 dan 20 mbar.

Metode yang digunakan yakni *Reactive sputtering*. Dimana pada penelitian ini pelat aluminium akan dideposisikan ke material substrat SiO_2/Au dengan variasi temperatur substrat dan tekanan gas nitrogen. Berikut adalah tahapan dari proses sintesis:

1. Sampel substrat SiO_2 diletakkan pada holder (anoda) alat sputtering
2. Material Al dan Au diletakkan pada katoda
3. Kemudian dipompa vacuum dalam chamber PVD
4. Gas argon dialirkan ke tabung plasma dan kemudian dilucutkan dengan sumber tegangan DC/AC yang terhubung ke terminal katoda dan anoda.
5. Pengaturan temperatur diatur dengan sampai temperatur (200, 250, 290) °C.
6. Gas nitrogen kemudian dialirkan ke dalam tabung plasma dengan variasi laju aliran nitrogen 10, 15 dan 20 mbar untuk membentuk nanomaterial AlN pada permukaan substrat

3.5.3 Pengujian dan Karakterisasi

Setelah proses deposisi maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian dan karakterisasi terhadap sampel yang telah dideposisi.

1. Karakterisasi Morfologi

Karakterisasi morfologi pada spesimen dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui struktur morfologi spesimen setelah dideposisi dengan material AlN. Metode karakterisasi morfologi yang digunakan pada penelitian ini adalah SEM (*Scanning Electron Microscope*), TEM dan juga AFM (*Atomic Force Microscopy*) untuk mengukur kekasaran permukaan material AlN. Berikut adalah tahapan karakterisasi morfologi:

- a. Menyiapkan spesimen uji SEM
- b. Membersihkan permukaan spesimen
- c. Meletakkan spesimen pada *holder*
- d. Mengoperasikan alat SEM
- e. Mengoperasikan alat TEM
- f. Mengoperasikan alat AFM

2. Karakterisasi Fasa

Karakterisasi fasa dilakukan dengan alat XRD (X-Ray Diffraction) yang bertujuan untuk identifikasi fasa secara kualitatif. Pada penelitian ini karakterisasi fasa dengan XRD dilakukan pada sampel setelah proses *sputtering*. Selain itu untuk analisis komposisi unsur pada material secara kualitatif dilakukan dengan bantuan alat EDX.

Karakterisasi morfologi dengan SEM akan saling berhubungan dengan karakterisasi fasa pada XRD. Dimana hasil gambar SEM menunjukkan distribusi fasa yang teridentifikasi pada XRD.

Karakterisasi Senyawa/ikatan kimia

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui informasi terkait ikatan kimia yang ada pada AlN. Ikatan kimia tersebut diindikasikan dengan puncak-puncak yang berbeda. Penjelasan cara kerja alat FTIR adalah sebagai berikut. Mula-mula zat yang diukur diidentifikasi, zat bisa berupa atom atau molekul. Sinar infra merah yang berperan sebagai sumber sinar, dibagi menjadi dua berkas, satu dilewatkan melalui sampel, dan yang lain melalui pembanding. Kemudian, secara berturut-turut melewati *chopper*. Setelah melalui prisma, berkas jatuh pada detektor dan diubah menjadi sinyal listrik yang kemudian direkam oleh rekorder. Selanjutnya, diperlukan *amplifier* apabila sinyal yang dihasilkan sangat lemah.

3.5.4 Pengambilan Data

Pengambilan dan pengumpulan data-data dari karakterisasi morfologi, fasa dan ikatan kimia.

3.5.5 Analisis Data

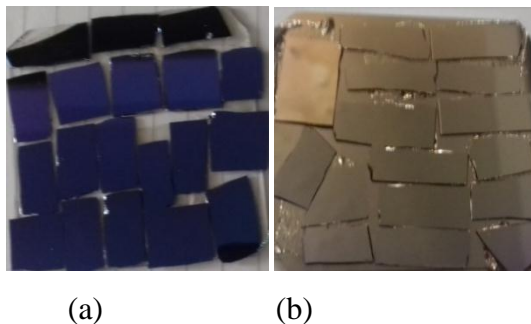
Analisis data dilakukan setelah semua data pengujian dan karakterisasi dikumpulkan. Analisis dilakukan untuk menjawab pertanyaan yang muncul pada perumusan masalah.

BAB 4

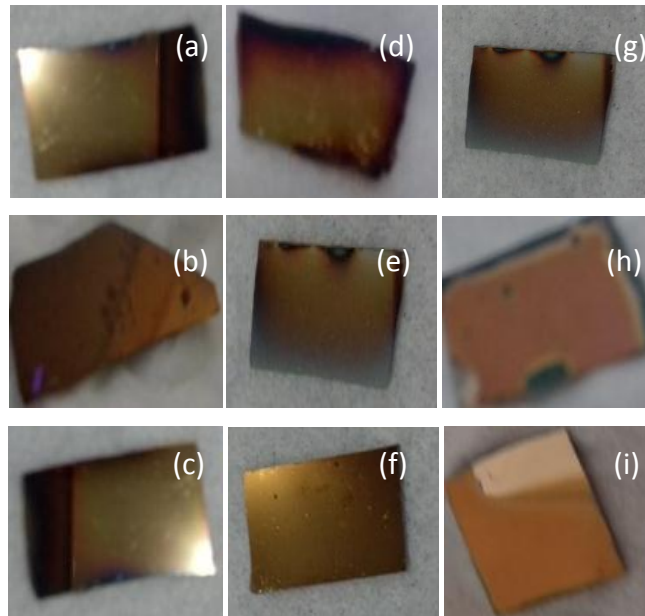
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sintesis Aluminium Nitrida (AlN)

Sintesis *Aluminium Nitrida* (AlN) di atas substrat SiO_2 dengan metode *Reactive Sputtering* telah berhasil dilakukan, dengan diawali pelapisan substrat SiO_2 dengan Au menggunakan alat *RF Magnetron Sputtering* dengan temperatur 120°C . Pada proses pendeposisian ini, tekanan pada ruangan vakum sekitar $4,0 \times 10^{-2}$ bar, dengan frekuensi tegangan 13,56 MHz. Energi yang tinggi menyebabkan terbentuknya plasma, sehingga atom Au akan terpercik dan memancar ke berbagai arah dimana sebagian akan bergerak menuju substrat. Atom-atom Au ini terpercik dengan energi yang cukup tinggi yakni sebesar 25 Watt dan 500 Volt, sedangkan tekanan gas argon yang digunakan adalah $4,0 \times 10^{-2}$ bar. Selanjutnya menumbuk permukaan substrat dan bergerak masuk kedalam bahan substrat untuk menempati kekosongan pada batas butir. Setelah itu hasil substrat yang tersputter Au di letakkan pada anoda dan dimasukkan ke dalam *chamber* dan katoda diganti dengan material aluminium. Proses *sputtering* kemudian dilanjutkan dengan menggunakan alat *DC Magnetron Sputtering*, untuk pendeposisian material AlN dengan variasi temperatur ($200, 250, 290^\circ\text{C}$) serta tekanan nitrogen (10, 15 dan 20 mbar). Tekanan pada ruang vakum yang dijaga $7,0 \times 10^{-2}$ bar dan tekanan gas argon $3,5 \times 10^{-2}$ bar. Hasil sintesis material ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1 (a) Substrat SiO_2 , (b) Substat SiO_2 yang terlapisi Au



Gambar 4.2 Sampel Hasil Sintesis AlN dengan Metode *Reactive Sputtering*

(a) 200°C 10 mbar, (b) 200°C 15 mbar, (c) 200°C 20 mbar,
 (d) 250°C 10 mbar, (e) 250°C 15 mbar, (f) 250°C 20 mbar,
 (g) 290°C 10 mbar, (h) 290°C 15 mbar, (i) 290°C 20 mbar,

Substrat SiO_2 yang belum *disputtering* dengan material Au dapat kita lihat pada Gambar 4.1 (a), apabila dilihat secara kasat mata berwarna biru tua. Selanjutnya, material SiO_2 yang telah terdeposisi Au dapat dilihat pada Gambar 4.1 (b). Apabila kita amati secara kasat mata substrat telah terlapisi dengan baik sehingga substrat berubah warna menjadi kuning keemasan. Sedangkan hasil sintesis material AlN menggunakan metode *reactive sputtering* dapat kita lihat pada Tabel 4.1. Secara umum material AlN yang terbentuk berwarna kuning. Hal ini sesuai dengan kualifikasi warna pada JCPDS nomor 03-1144.

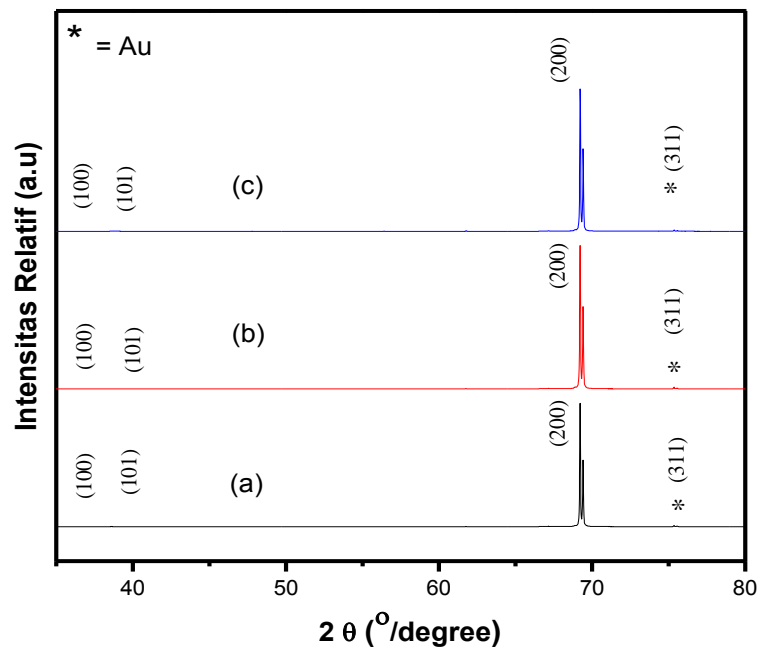
4.2 Analisis Hasil Karakterisasi *X-ray Diffraction* (XRD)

Pengamatan difraksi sinar-x bertujuan untuk mengetahui fasa yang terbentuk. Pengujian XRD dilakukan pada interval sudut $2\theta = 30^\circ - 80^\circ$. Pola XRD

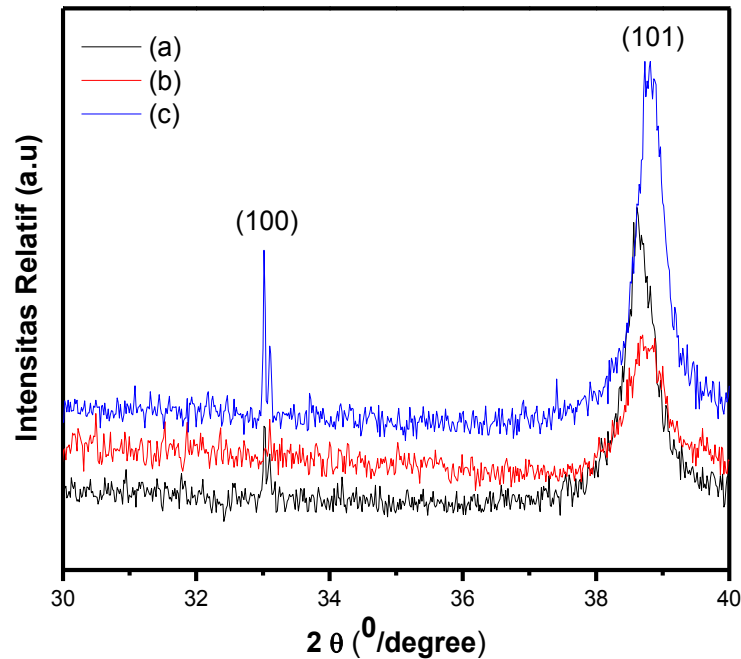
pada Gambar 4.2 - 4.7 dapat dianalisis dengan identifikasi fasa. Metode tersebut didasarkan pada pencocokan data posisi-posisi puncak difraksi terukur dengan basis data (*data base*). Hasil dari karakterisasi XRD dianalisis menggunakan *software X'pert Highscore plus*. Berdasarkan spektrum, didapatkan nilai sudut 2θ , jarak antar bidang Bragg(d), intensitas relatif, FWHM dan sebagainya. Pada hasil pengujian XRD menunjukkan jika pada semua variasi sudah terbentuk senyawa aluminium nitrida (AlN) namun dengan intensitas yang berbeda-beda.

4.2.1 Analisis Fasa Hasil XRD

Pengujian dilakukan pada sampel dengan variasi temperatur (200, 250, 290) °C dan tekanan nitrogen (10, 15 dan 20 mbar). Berdasarkan data pada JCPDS nomor 03-1144 diketahui bahwa terbentuk fasa utama yakni Aluminium Nitrida (AlN) dengan *space group* P63mc. Puncak fasa cocok pada $2\theta = 33,1^\circ, 38,07^\circ$ dan $69,21^\circ$.



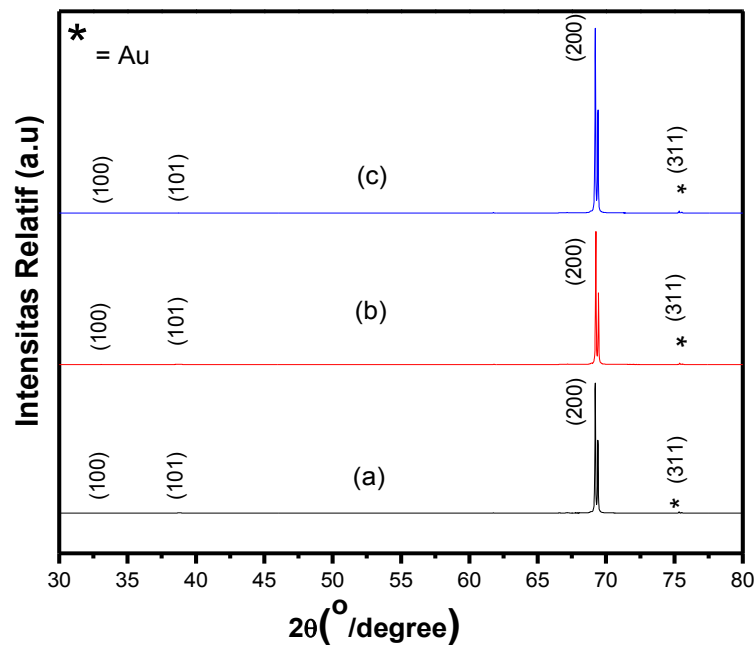
Gambar 4.3 Hasil XRD pada Temperatur 200°C dengan Variasi Tekanan Nitrogen (a). 10 mbar, (b). 15 mbar dan (c). 20 mbar pada Interval $2\theta=30^\circ-80^\circ$



Gambar 4.4 Hasil XRD AlN pada Temperatur 200°C dengan Variasi Tekanan Nitrogen pada Interval $2\theta=30^{\circ}$ - 40°

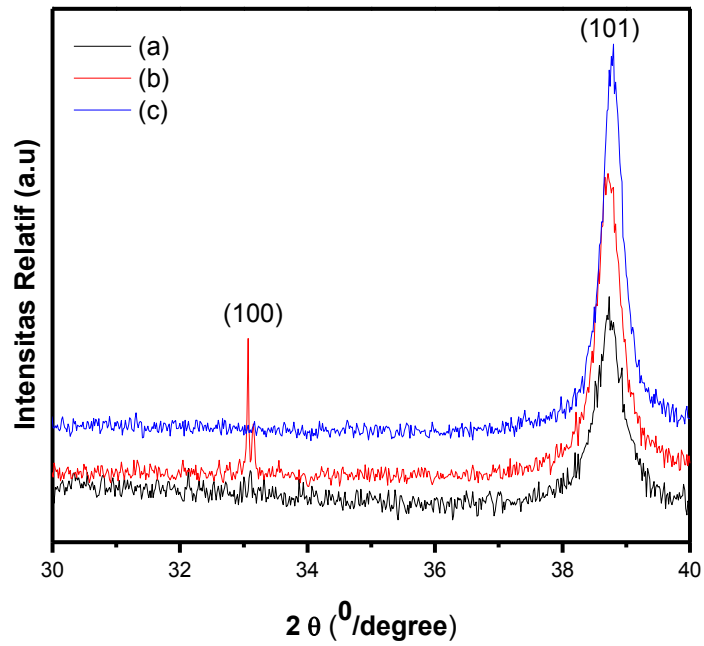
Gambar 4.3 menunjukkan pola XRD material AlN hasil proses *reactive sputtering* pada suhu 200°C dengan variasi tekanan nitrogen 10, 15 dan 20 mbar. Ketiga pola XRD tersebut menunjukkan kesesuaian dengan JCPDF Card Nomor 03-1144. Untuk material AlN dengan struktur kristal hexagonal, mempunyai puncak tertinggi pada $2\theta = 69,21^{\circ}$ yang mewakili bidang (200). Terdapat 3 puncak minor pada $2\theta = 33,064^{\circ}$ dan $2\theta = 38,1^{\circ}$ yang masing-masing sesuai dengan bidang (100) dan (101). Sedangkan pola difraksi dari material Au ditunjukkan pada $2\theta = 76,7^{\circ}$ mewakili bidang (311) dengan JCPDF Au 04-0784. Untuk material AlN dengan struktur kristal hexagonal, mempunyai puncak tertinggi pada $2\theta = 69,21^{\circ}$ yang mewakili bidang (200). Terdapat 3 puncak minor pada $2\theta = 33,064^{\circ}$ dan $2\theta = 38,1^{\circ}$ yang masing-masing sesuai dengan bidang (100) dan (101). Sedangkan pola difraksi dari material Au ditunjukkan pada $2\theta = 76,7^{\circ}$ mewakili bidang (311).

Gambar 4.4 menunjukkan pola XRD pada sudut $2\theta = 33,064$ untuk memperjelas puncak minor yang terbentuk pada $2\theta = 33,064^\circ$, $38,1^\circ$ dan $2\theta = 76,7^\circ$. Intensitas yang tinggi dengan puncak yang sempit menunjukkan bahwa AlN mempunyai kristalinitas yang tinggi. Adanya 4 bidang yang terbentuk menunjukkan bahwa AlN bersifat polikristalin dengan bidang yang dominan adalah (200).

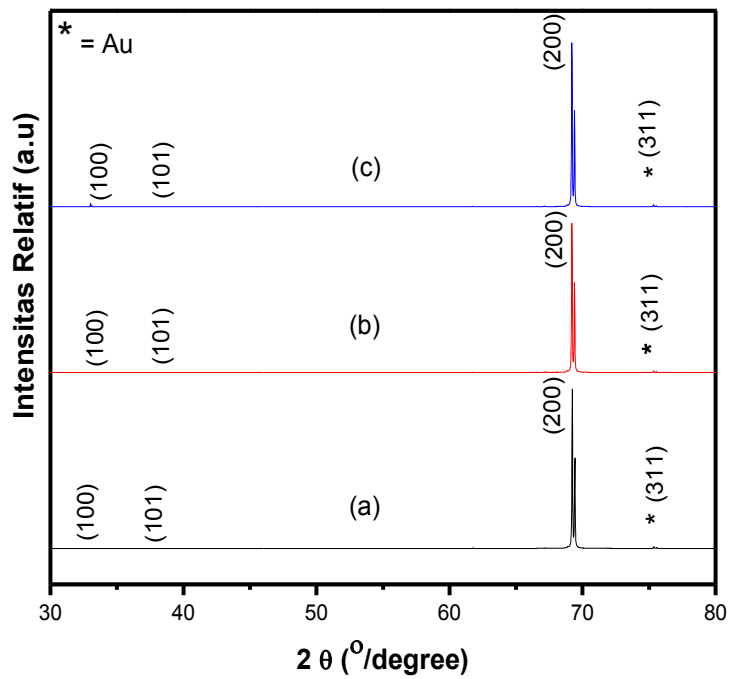


Gambar 4.5 Hasil XRD pada Temperatur 250°C dengan Variasi Tekanan Nitrogen (a). 10 mbar, (b). 15 mbar dan (c). 20 mbar pada Interval $2\theta = 30^\circ - 80^\circ$

Seperti pola XRD pada Gambar 4.3 dan 4.4 yang telah dijelaskan sebelumnya, pola XRD pada Gambar 4.4 dan 4.5 juga menunjukkan material polikristalin AlN pada $2\theta = 33,064^\circ$, $38,1^\circ$, $69,21^\circ$ dan $76,7^\circ$ dengan masing-masing bidang (100), (101), (200) dan (311). Selain itu tren yang ditunjukkan juga sama, hal ini menunjukkan bahwa dengan tekanan nitrogen yang semakin besar maka intensitas naik, sehingga kristalinitas tinggi.

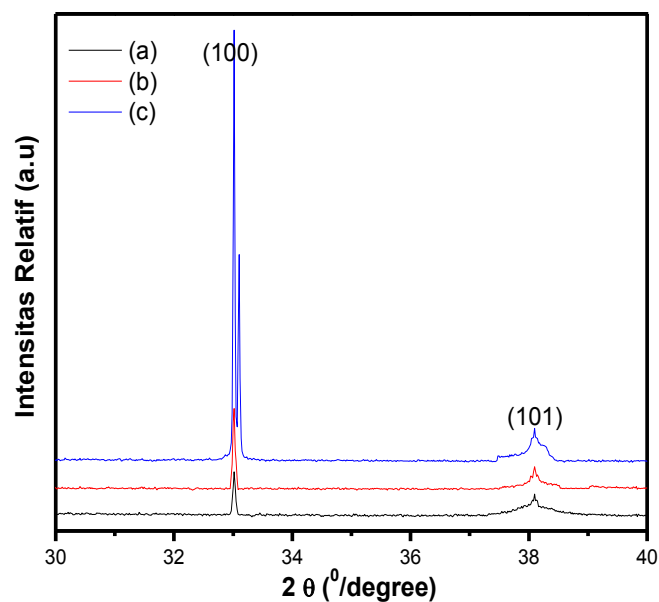


Gambar 4.6 Hasil XRD pada Temperatur 250°C dengan Variasi Tekanan Nitrogen pada Interval Sudut $2\theta = 30^\circ - 40^\circ$



Gambar 4.7 Hasil XRD AlN pada Temperatur 290°C dengan Variasi Tekanan Nitrogen (a).10 mbar, (b).15 mbar dan (c). 20 mbar pada Interval $2\theta=30^\circ-80^\circ$

Pada Gambar 4.7 dan 4.8 hasil difraksi sinar-x material AlN menunjukkan pola yang hampir sama didapatkannya nilai intensitas kristal yang semakin tinggi, hal ini dapat mengindikasikan besarnya ukuran kristal yang dihasilkan. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai FWHM yang semakin sempit dan pengukuran dari data analisis kualitatif XRD yang dapat dilihat pada Tabel 4.2. Untuk hasil pola XRD yang diperoleh pada Gambar 4.2, 4.4 dan 4.6 pada puncak $69,21^\circ$ terlihat adanya bentuk puncak yang bercabang, hal ini disebabkan karena adanya K- alpha 2 yang menunjukkan bidang yang sama yakni (200) dan sesuai dengan JCPDF AlN 03-1144(Rooi, 2014)



Gambar 4.8 Hasil XRD pada Temperatur 290°C dengan Variasi Tekanan Nitrogen pada Interval Sudut $2\theta = 30^\circ - 40^\circ$

Secara umum terlihat bahwa terdapat kesesuaian antara pola XRD pada Gambar 4.3, 4.5, dan 4.7 dengan kartu JCPDS akan tetapi, dengan adanya penambahan tekanan nitrogen pada material target *sputtering* berdampak pada bergesernya posisi sudut $2\theta=69,21^\circ$ yang dihasilkan untuk beberapa puncak difraksi AlN (200) terjadi pergeseran kekanan. Hal ini menandakan adanya perubahan pada susunan atom di kristal AlN. Sesuai dengan hukum Bragg ($n\lambda=2d\sin\theta$), semakin tinggi nilai sudut difraksi maka nilai *interplanar spacing* (d)

akan menjadi semakin kecil sehingga jarak antar atom menjadi semakin dekat. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya temperatur substrat dan tekanan nitrogen pada kristal yang ditandai dengan penurunan parameter kisinya semakin kecil atau rapat (Pemmasani, 2014).

Kristal yang baik adalah kristal yang memiliki nilai FWHM yang sempit dengan grain size yang besar sehingga akan memperkecil *Grain boundary*. *Grain boundary* adalah permukaan atau daerah yang menghubungkan antara dua grain kristal tunggal. Peningkatan temperatur substrat *sputtering* membuat atom-atom pada target mampu terdeposisi secara merata atau homogen pada substrat (Siswanto dkk, 2006). Hal tersebut mengakibatkan lapisan memiliki *grain size* yang besar dan membuat *grain boundary* yang terbentuk semakin kecil, sehingga membuat nilai FWHM yang tajam dan sempit.

Adapun yang membedakan hasil XRD dari sampel adalah intensitas relatif kristal yang dihasilkan bervariasi yang dapat dilihat pada Tabel 4.1. Pada Tabel 4.1 dengan temperatur 200 °C puncak kristal dominan di dapatkan pada sudut $2\theta=69,21^{\circ}$ dengan intensitas tertinggi pada tekanan 20 mbar. Demikian pula pada temperatur 250 °C intensitas tertinggi di peroleh pada tekanan 20 mbar, pada sudut $2\theta=69,20^{\circ}$. Untuk temperatur 290 °C puncak kristal dominan pada tekanan 20 mbar, pada sudut $2\theta=69,20^{\circ}$. Untuk sudut puncak yang lain memiliki intensitas masih cukup rendah jika dibandingkan dengan sudut $2\theta=69,20^{\circ}$. Hal ini disebabkan karena atom-atom target terdeposisi pada substrat terbentuk secara acak pada proses pemanasan dan tekanan nitrogen yang mengenai aluminium, yang mana akan terjadi tumbukan yang menyebabkan terikatnya unsur Al dan N menjadi AlN (Chang, 2009).

Didapatkannya intensitas relatif yang tinggi maka mengindikasikan besarnya ukuran kristal yang dihasilkan. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai FWHM yang semakin sempit dan pengukuran dari data analisis kuantitatif XRD yang dapat dilihat pada Tabel 4.1. untuk sudut 2θ di sudut lain juga di dapatkan dengan orientasi kristal (100) pada sudut $2\theta=33,064^{\circ}$ akan tetapi intensitas yang didapat lebih kecil dari sudut 2θ dominan dari kurva XRD. Sudut 2θ yang muncul sebagai puncak difraksi pada sintesis ini didapatkan arah orientasi kristal yaitu (100) dan (200) yang mana juga sebidang dengan susbtrat SiO₂ yaitu (100).

Hasil karakterisasi XRD yang dilakukan pada penelitian Ice Trianza pada tahun 2016 menghasilkan pola XRD yang hampir sama, tetapi yang membedakan hanyalah posisi puncak pada salah satu bidang yakni pada $2\theta = 65,443^\circ$ dan puncak material Au pada bidang (311) pada $2\theta = 76,7^\circ$. Semua sampel memiliki puncak pada tiga bidang domain diwakili oleh bidang (101) pada $2\theta = 38,758^\circ$ bidang (103) pada $2\theta = 65,443^\circ$ dan bidang (200) pada $2\theta = 69,40^\circ$. Untuk hasil intensitas puncak tertinggi pada $2\theta = 69,40^\circ$, dengan kecocokan JCPDF03-1144.

4.2.2 Analisis Kuantitatif Hasil XRD

Analisa XRD selanjutnya adalah perhitungan berdasarkan nilai FWHM, sesuai dengan persamaan 3.1 dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini. Sesuai dengan persamaan Debye Scherer, nilai FWHM harus diubah dulu dalam bentuk radian. Sudut 2θ yang didapat juga berbeda-beda dan nilai sudut 2θ harus diubah dalam bentuk θ . Sesuai dengan standar JCPDS nomor 03-1144, menyatakan bahwa struktur kristal AlN adalah heksagonal, dimana nilai parameter kisi pada heksagonal adalah $a = b \neq c$. Struktur heksagonal dari senyawa AlN dapat dilihat pada Gambar 4.8, dimana atom aluminium yang berwarna biru dan atom nitrida yang berwarna kuning. AlN dengan struktur heksagonal, berhasil disintesis dengan adanya katalis logam (Shi, 2014).

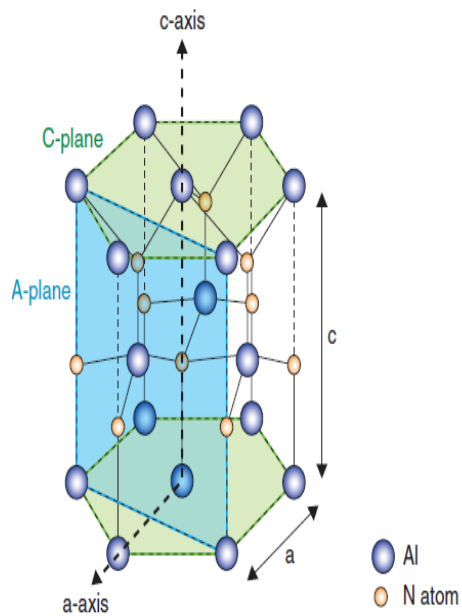
Tabel 4.1 Perhitungan Ukuran Kristal Aluminium Nitrida Notasi (200)

No	Spesimen		(2 θ) degree (XRD)	Intensitas (cts)	d-spacing (XRD) (nm)	FWHM (Rad)	D (XRD) (nm)
	Temperatur Substrat <i>Sputtering</i> (°C)	Tekanan N ₂ (mbar)					
1	200	10	69.2123	335503	1.35632	0.00142	118.6327
2		15	69.2111	397961	1.35634	0.00106	157.7315
3		20	69.2176	408291	1.35623	0.00106	157.7377
4	250	10	69.2047	318419	1.35645	0.00142	118.6273
5		15	69.2483	311087	1.35571	0.00142	118.6584
6		20	69.2086	431325	1.35639	0.00106	157.7291
7	290	10	69.2261	409777	1.35609	0.00142	118.6283
8		15	69.2014	417120	1.35651	0.00142	118.6249
9		20	69.2000	443069	1.35653	0.00106	157.7209

Pada kurva XRD, dapat diketahui adanya nilai yang hampir sama pada masing-masing puncak yang dihasilkan pada pola XRD. Ukuran kristal dihitung dengan Persamaan *Debye Scherrer*, perhitungan ukuran kristal dapat dilihat pada (Lampiran). Dari puncak yang didapat diketahui material AlN merupakan polikristal karena memiliki puncak dan bidang yang berbeda-beda. Hasil ukuran kristal yang didapatkan pada penelitian ini, secara umum mempunyai trend naik dengan adanya tekanan nitrogen yang ditambahkan. Sedangkan untuk kenaikan temperatur tidak berpengaruh pada ukuran kristal yang dihasilkan. Untuk mengetahui kecocokan dengan standart JCPDS dilakukan perhitungan parameter kisi seperti pada Tabel 4.3. Pada data JCPDS didapatkan nilai $a = 3,113 \text{ \AA}$ dan nilai $c = 4,7981 \text{ \AA}$. sedangkan perhitungan dengan metode analitik didapat $a = 3,116 \text{ \AA}$ dan nilai $c = 5,0813 \text{ \AA}$. Hasil perhitungan dengan metode analitik ini memiliki kesesuaian dengan data JCPDS.

Tabel 4.2 Perbandingan Parameter Kisi AlN

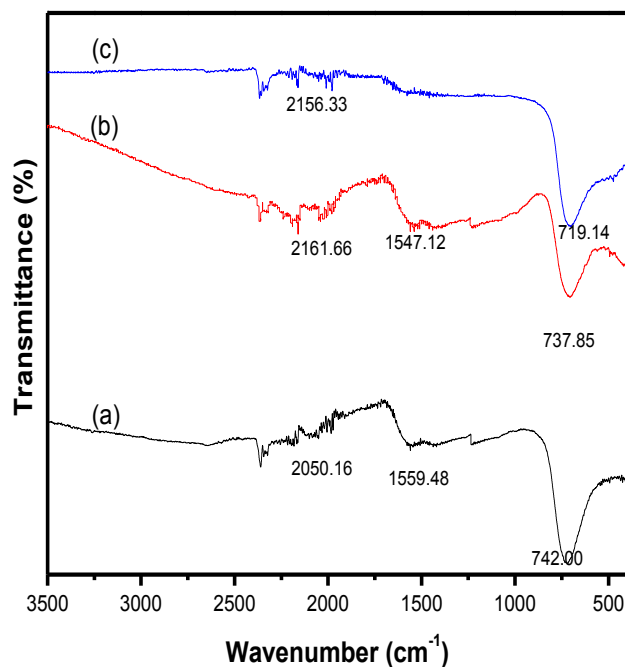
Material	Parameter Kisi	Sudut 2θ (°)	a (Å)	c (Å)	c/a (Å)	Sistem Kristal
AlN	JCPDF		3,113	4,981	1,60	Heksagonal
	Metode Analitis	33,064	3,084	5,028	1,630	Heksagonal
		38,1	3,128	5,094	1,628	Heksagonal
		69,20	3,136	5,122	1,633	Heksagonal



Gambar 4.9 Struktur Kristal *Hexagonal* untuk AlN (Taniyashu, 2009)

4.3 Hasil Pengujian *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

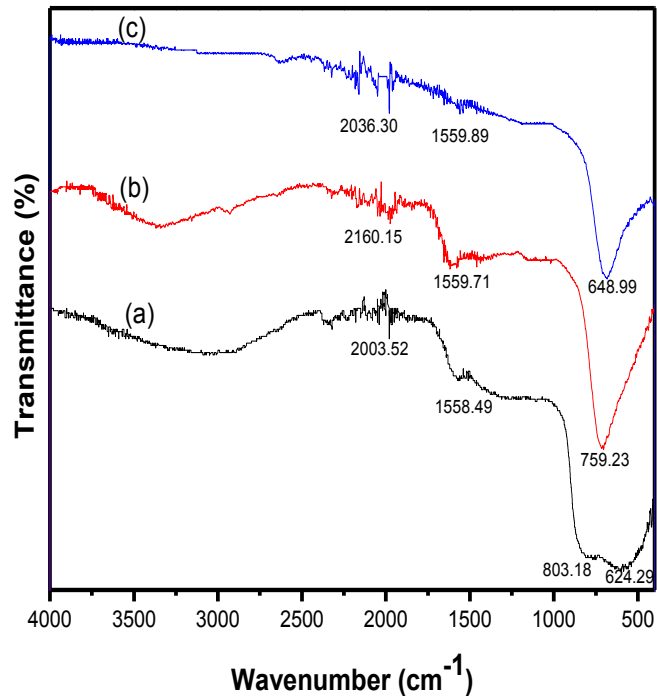
Tujuan pengujian *Fourier Transform Infra Red (FTIR)* adalah mengidentifikasi suatu senyawa berdasarkan gugus- gugus fungsional. Untuk mengetahui serapan infra merah senyawa AlN yang dapat digunakan dalam pengaplikasian *Light Emitted Diode (LED)*. Dalam penelitian ini, spektra dari grafik menunjukkan karakteristik yang berbeda. Pengujian FT-IR dilakukan dengan menggunakan alat Shimadzu 8400S dari data pengujian didapatkan puncak grafik yang diperoleh berada pada *range wavenumber* antara 400 - 4000 cm^{-1} .



Gambar 4.10 Hasil *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)* pada AlN dengan Temperatur substrat 200 $^{\circ}$ C dan tekanan nitrogen (a) 10 mbar (b) 15 mbar (c) 20 mbar

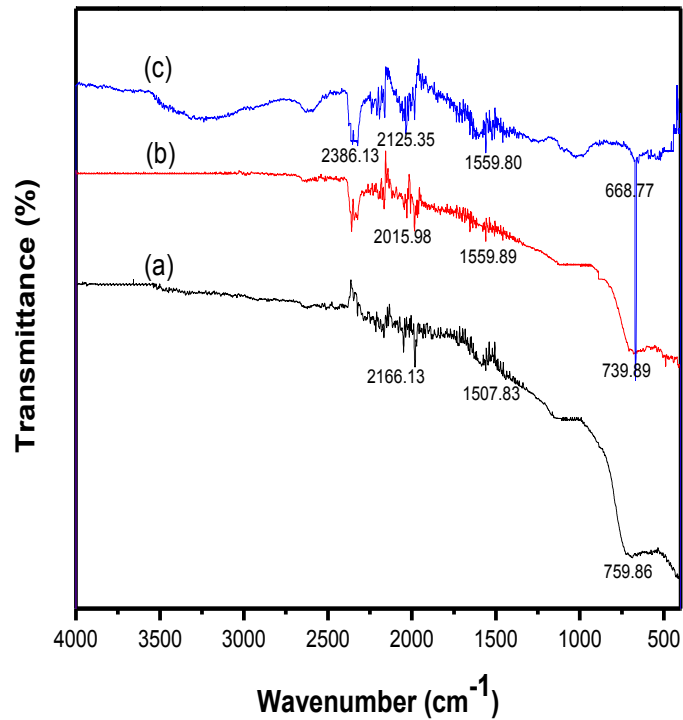
Dalam penelitian ini, spektra dari grafik menunjukkan karakteristik yang berbeda. Gambar 4.10 menunjukkan pada temperatur 200 $^{\circ}$ C memiliki serapan panjang gelombang yang hampir sama yakni di range 700-790 cm^{-1} . Hasil pengujian pada Gambar 4.10 mengindikasikan terbentuknya *Longitudinal Optical*

(LO) pada senyawa AlN. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa AlN yang terbentuk tidak dapat terpolarisasi. Karena gelombang LO tidak memiliki arah getaran tegak lurus dengan arah rambatannya.



Gambar 4.11 Hasil *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FT-IR) pada AlN dengan temperatur substrat 250°C dan tekanan nitrogen (a) 10 mbar (b) 15 mbar (c) 20 mbar

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa, pada temperatur 250°C dari hasil pengujian FT-IR memiliki puncak beragam dari transmitansi 97-99% pada rentang $600\text{-}800\text{ cm}^{-1}$ yang hampir sama. Pada Gambar 4.11 dapat terlihat bahwa terbentuk gelombang *Longitudinal Optical* (LO) dan *Transversal Optical* (TO) dari senyawa AlN. TO terbentuk pada variasi tekanan nitrogen yang paling besar, yakni pada 20 mbar. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa AlN yang terbentuk dapat terpolarisasi. Karena gelombang TO memiliki arah getaran tegak lurus dengan arah rambatannya. Sehingga gelombang TO merupakan gelombang elektromagnetik.



Gambar 4.12 Hasil *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FT-IR) pada AlN dengan Temperatur Substrat 290°C dan tekanan nitrogen (a) 10 mbar (b) 15 mbar (c) 20 mbar

Gambar 4.12 menunjukkan bahwa, pada temperatur 290°C dengan tekanan nitrogen semakin besar, menunjukkan nilai transmitansi yang semakin tinggi dan hasil serapan yang hampir sama dengan Gambar 4.11. Dari hasil pengujian FT-IR didapatkan panjang gelombang yang berbeda-beda untuk senyawa anorganik yang dihasilkan pada variasi temperatur substrat dan tekanan gas nitrogen yang berbeda-beda, akan tetapi nilai panjang gelombang cenderung seragam pada hasil $600\text{-}800\text{ cm}^{-1}$ yang mendominasi dan menghasilkan gelombang *Longitudinal Optical* (LO) dan *Transversal Optical* (TO). Hasil dari spektrum FTIR yang dihasilkan sesuai dengan Tabel 2.4.

Tabel 4.3 Pengamatan Spektrum IR Pada AlN

Variabel	Temperatur (°C)					
	200		250		290	
Tekanan Nitrogen (mbar)	Wavenumber (cm⁻¹)	<i>Phonon Mode</i>	Wavenumber (cm⁻¹)	<i>Phonon Mode</i>	Wavenumber (cm⁻¹)	<i>Phonon Mode</i>
10	792,00	(LO) (Ir Active)	624,29	E1(TO) (Ir Active)	759,86	(LO) (Ir Active)
	1507,83	C-O Bending	803,18	Si-O-Si	1507,83	C-O Bending
	2050,16	N-Al-N	1558,49	C-O Bending	2125,35	N-C-N
	2156,33	N-Al-N	2003,52	N-Al-N	2386,13	N-Al-N
15	737,85	(LO) (Ir Active)	759,23	(LO) (Ir Active)	739,89	(LO) (Ir Active)
	1547,12	C-O Bending	1559,71	C-O Bending	1559,89	C-O Bending
	2161,16	N-Al-N	2160,15	N-Al-N	2015,98	N-Al-N
20	719,14	(LO) (Ir Active)	648,99	E1 (TO) (Ir Active)	668,77	E1 (TO) (Ir Active)
	2156,33	N-Al-N	1559,89	C-O Bending	1559,80	C-O Bending
			2036,30	N-Al-N	2166,13	N-Al-N

Sesuai hasil pengujian FT-IR, senyawa AlN yang dihasilkan pada penelitian ini dapat diaplikasikan untuk *Light Emitted Diode* (LED). Senyawa AlN mampu mentransmisikan cahaya tampak pada panjang gelombang 600 – 800 cm^{-1} . Gelombang senyawa AlN merupakan senyawa inorganik (Fei dkk, 2012). Pada Tabel 4.4 diketahui bahwa terdapat *wavenumber* yang didominasi pada interval 600 - 800 cm^{-1} . Pada interval *wavenumber* 600 - 670 merupakan gugus *transverse optical infrared* aktif dan pada Tabel 4.4 terlihat senyawa AlN menghasilkan sifat *transverse optical infrared* aktif pada parameter variasi temperatur 250°C dan 290°C pada tekanan nitrogen 20 mbar.

Sesuai dengan karakteristik LED yang bisa memancarkan gelombang elektromagnetik, maka senyawa AlN bisa diaplikasikan dalam *window layer* dari LED. Pada puncak wilayah serapan dari 2000-2200 cm^{-1} , terdapat puncak lemah lain yang teramati yakni modus getaran obligasi N-Al-N, hal ini semakin menegaskan bahwa growth di atas substrat SiO_2 adalah stoikiometri AlN (Martot, 2010). Untuk ikatan C-O bending yang terukur merupakan pengotor dari udara yang teridentifikasi selama proses pengukuran. Hal ini juga berkaitan dengan homogenitas kristal yang dapat meningkatkan sifat optik dimana target yang terdeposisi secara merata dan relatif sama, membuat tingkat kristalinitas semakin bagus, sehingga dapat meningkatkan nilai transmisi (Van Plack, 2009).

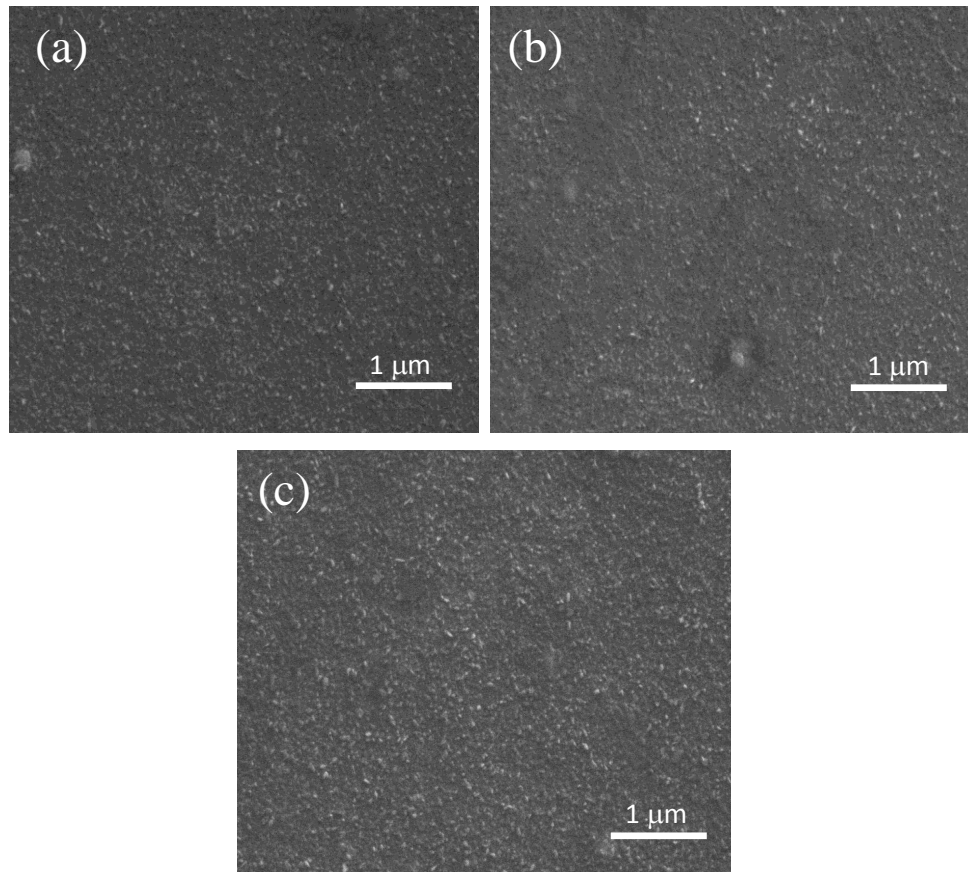
Adapun untuk *phonon mode* A1 dan E1 menunjukkan arah gelombang transversal yang dihasilkan yang mana pada struktur kristal hexagonal memiliki sifat kristal anisotropi yaitu kristal yang tidak seragam arah tumbuhnya tergantung dari variabel pembentukannya selain itu struktur kristal ini memiliki ikatan kovalen polar yang mana gelombang akan merambat sepanjang phonon mode A1 dan E1, A1 merupakan gelombang yang arah rambatnya pada sumbu-z sedangkan E1 merupakan gelombang yang merambat pada bidang-xy (Iborra, 2006)

Pada penelitian sebelumnya keterpengaruhannya variasi yang dilakukan pada penelitian hampir tidak ada karena panjang gelombang dari AlN yang dihasilkan cenderung seragam yakni pada range 600-670 cm^{-1} . Pada hasil penelitian tersebut hanya diidentifikasi senyawa yang ada pada panjang gelombang yang dihasilkan. Sedangkan puncak yang lainnya yang lebih kecil diabaikan (Ramadhani dkk, 2016).

4.4 Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX).

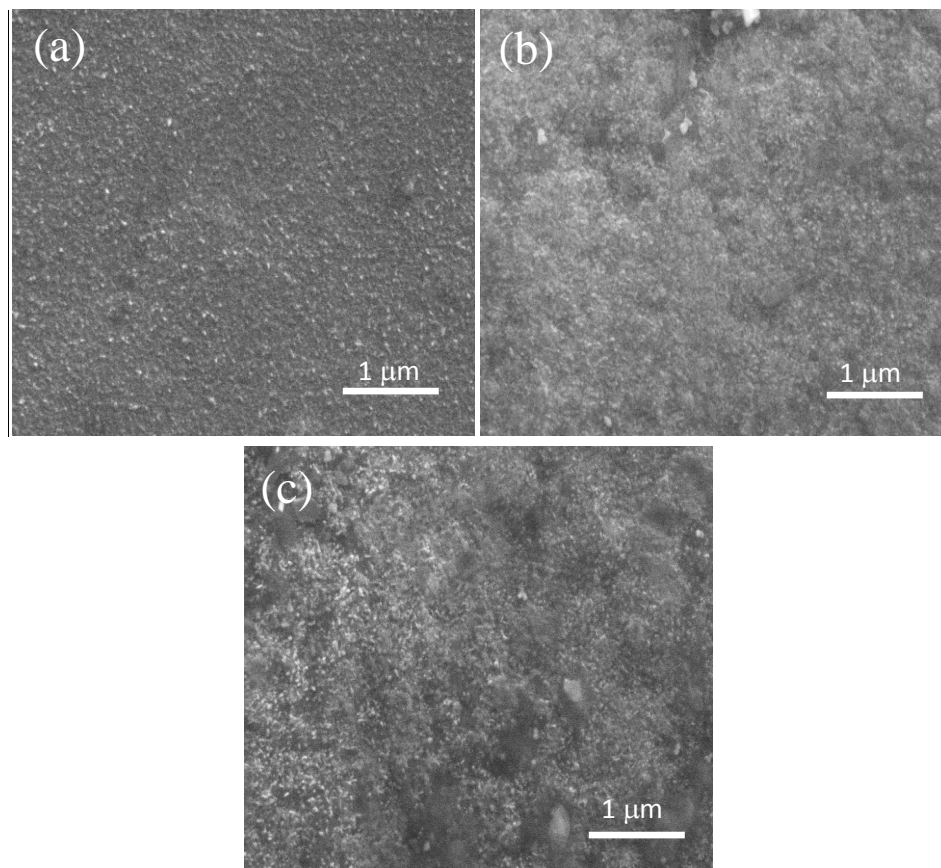
4.4.1 Analisis Hasil Karakterisasi *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Pengamatan senyawa AlN dilanjutkan dengan pengujian SEM. Pengujian SEM ini dilakukan dengan menggunakan alat SEM FEI Inspect S50. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui morfologi dari senyawa AlN yang terbentuk melalui proses *sputtering*. Senyawa AlN *nanopartikel* dengan diameter yang seragam, berhasil disintesis di atas substrat silikon dengan lapisan Au yang tipis pada permukaan substrat. Lapisan ketebalan Au pada substrat, temperatur substrat dan tekanan gas nitrogen selama proses *sputtering*, mempengaruhi hasil dari AlN *nanopartikel*.



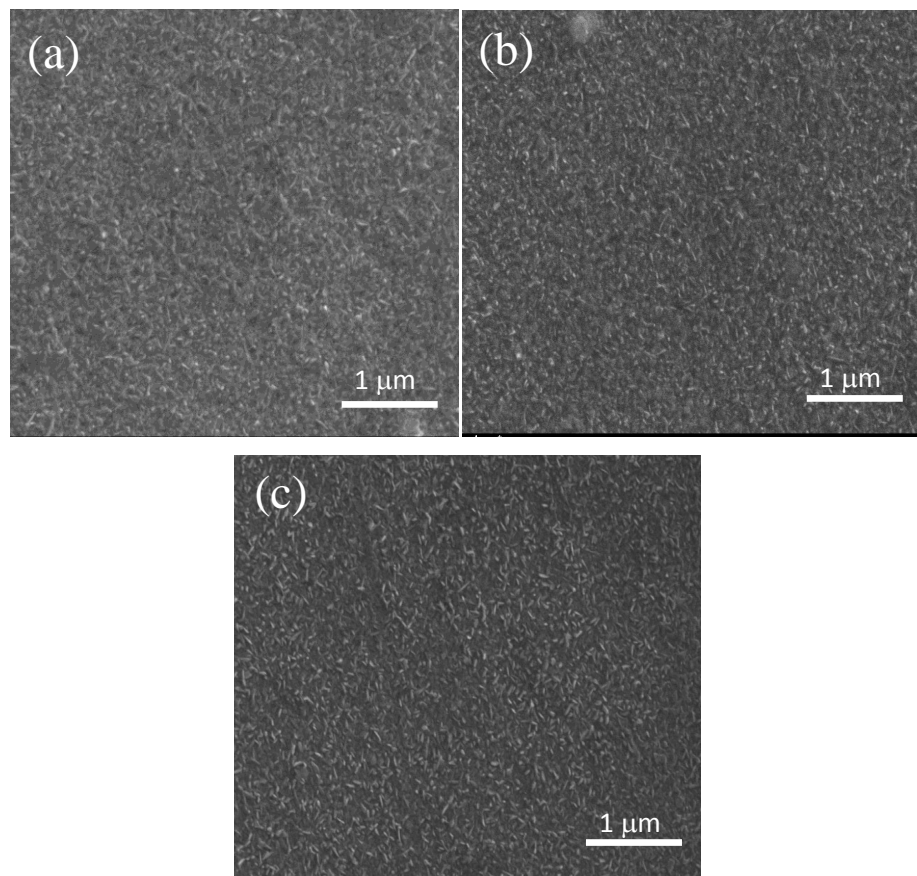
Gambar 4.13 Hasil Pencitraan SEM dengan perbesaran 15.000x pada Temperatur Substrat 200 °C dengan Tekanan Nitrogen (a). 10 mbar, (b). 15 mbar dan (c). 20 mbar

Gambar 4.13 merupakan hasil SEM AlN dengan pada temperatur substrat 200°C dengan variabel tekanan nitrogen 10, 15 dan 20 mbar. Ketika tekanan nitrogen 10 mbar, terlihat pada Gambar 4.13(a) bahwa proses pembentukan nanomaterial sudah mulai terbentuk dengan adanya titik-titik kecil berwarna putih dengan warna substrat yang gelap. Hal ini diperjelas pada Gambar 4.13(b), ketika tekanan nitrogen dinaikan 15 mbar, titik-titik putih yang terbentuk meningkat dari tekanan nitrogen sebelumnya. Gambar 4.13(c) menunjukkan bahwa titik-titik putih nanomaterial yang terbentuk semakin banyak dan merata. Dapat dilihat bahwa, semakin besar tekanan nitrogen yang diberikan, maka akan mempengaruhi banyaknya nanomaterial yang terbentuk.



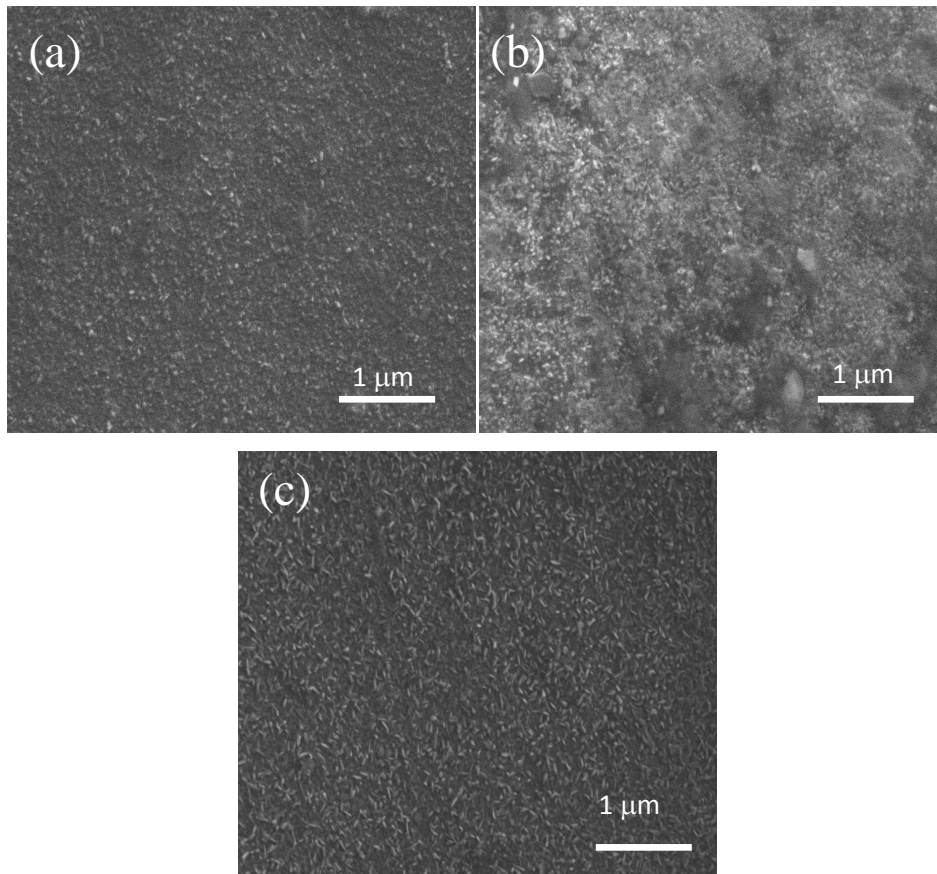
Gambar 4.14 Hasil Pencitraan SEM dengan perbesaran 15.000x pada Temperatur Substrat 250°C dengan Tekanan Nitrogen (a). 10 mbar, (b). 15 mbar dan (c). 20 mbar

Pada Gambar 4.14 merupakan hasil SEM AlN dengan perbesaran 15.000x pada temperatur substrat 250^oC dengan variabel tekanan nitrogen 10, 15 dan 20 mbar. Ketika tekanan nitrogen 10 mbar, terlihat pada Gambar 4.14(a) bahwa proses pembentukan nanomaterial sudah terbentuk dengan adanya titik-titik kecil berwarna putih dengan bentuk bulat yang lebih terlihat dan warna substrat yang gelap. Hal ini diperjelas pada Gambar 4.14(b), ketika tekanan nitrogen dinaikan 15 mbar, bulatan putih yang terbentuk meningkat dari tekanan nitrogen sebelumnya. Gambar 4.14(c) menunjukkan bahwa bulatan putih nanomaterial yang terbentuk semakin banyak dan merata. Sesuai dengan meningkatnya tekanan nitrogen yang diberikan, pertumbuhan nanomaterial juga semakin banyak, hal tersebut dapat kita lihat dari bulatan-bulatan putih yang terbentuk.



Gambar 4.15 Hasil Pencitraan SEM dengan perbesaran 15.000x pada Temperatur Substrat 290^oC dengan Tekanan Nitrogen (a). 10 mbar, (b). 15 mbar dan (c). 20 mbar

Gambar 4.15 merupakan hasil SEM AlN dengan perbesaran 15.000x pada temperatur substrat 290^oC dengan variabel tekanan nitrogen 10, 15 dan 20 mbar. Ketika tekanan nitrogen 10 mbar, terlihat pada Gambar 4.15(a) bahwa nanomaterial AlN sudah mulai terbentuk dengan adanya bentuk bulatan lonjong kecil-kecil berwarna putih dengan warna substrat yang gelap. Hal ini diperjelas pada Gambar 4.15(b), ketika tekanan nitrogen dinaikan 15 mbar, bulatan lonjong kecil-kecil putih yang terbentuk meningkat dari tekanan nitrogen sebelumnya. Gambar 4.15(c) menunjukkan bahwa bulatan lonjong kecil-kecil putih nanomaterial yang terbentuk semakin banyak dan merata.



Gambar 4.16 Hasil Pencitraan SEM dengan perbesaran 15.000x pada Tekanan Nitrogen 20 mbar dengan Temperatur Substrat (a). 200^oC, (b). 250^oC dan (c). 290^oC

Pada Gambar 4.16 merupakan hasil SEM AlN dengan perbesaran 15.000x pada tekanan nitrogen 20 mbar dengan variabel temperatur substrat 200^o, 250^o dan 290^o C. Ketika temperatur substrat 200^o C, terlihat pada Gambar 4.16(a) bahwa nanomaterial AlN sudah mulai terbentuk dengan adanya bentuk titik-titik kecil berwarna putih dengan warna substrat yang gelap. Hal ini diperjelas pada Gambar 4.16(b) ketika temperatur substrat 250^o C yang digunakan, titik-titik kecil berwarna putih berubah menjadi bulatan-bulatan putih dan lonjong kecil-kecil putih yang terbentuk mulai terlihat. Gambar 4.16(c) menunjukkan bahwa bulatan lonjong kecil-kecil putih nanomaterial yang terbentuk semakin banyak dan merata dengan meningkatnya temperatur substrat yang digunakan. Pada Gambar 4.16(a) dengan temperatur substrat 200^o C baru terlihat adanya indikasi pembentukan nanomaterial. Sedangkan pada Gambar 4.16(b) temperatur substrat 250^o C, terlihat ukuran rata-rata nanomaterial sebesar 236,7 nm. Pada Gambar 4.16(c) dengan temperatur substrat 290^o C, terlihat ukuran rata –rata nanomaterial yang terbentuk adalah sebesar 371.7 nm.

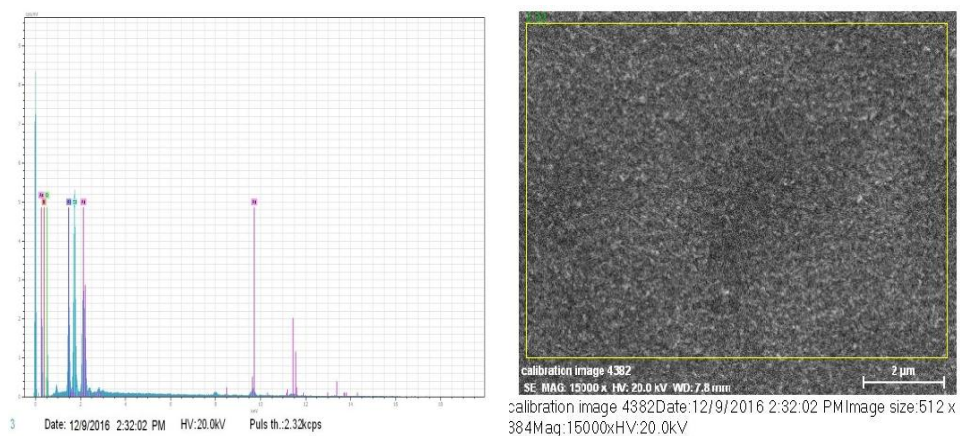
Variasi temperatur substrat dan tekanan nitrogen memberikan pengaruh pada ukuran partikel AlN yang terbentuk pada permukaan substrat. Dimana seiring dengan penambahan tekanan nitrogen yang digunakan, banyaknya partikel AlN yang terbentuk terlihat semakin banyak dan merata. Secara umum hasil SEM menunjukkan trend peningkatan seperti yang terlihat pada Gambar 4.12 - 4.14 di atas. Sedangkan peningkatan temperatur substrat terlihat meningkatkan ukuran partikel lapisan AlN hasil *sputtering* secara signifikan. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur substrat yang digunakan maka semakin banyak pula atom – atom dari material target *sputtering* yang terlepas dari permukaannya dan menuju ke permukaan substrat. Atom - atom Al ini kemudian akan mengalami proses nukleasi yang diikuti dengan tahap *growth* pada permukaan substrat. Sehingga semakin tinggi temperatur substrat memberikan energi yang lebih besar untuk atom – atom Al dan N untuk mengalami re-nukleasi dan penyusunan kristal untuk kemudian membentuk partikel yang lebih besar.

Sedangkan morfologi permukaan lapisan AlN pada penelitian yang telah dilakukan oleh Ramadhani dan Trianza pada tahun 2016 dengan menggunakan

metode *Chemical Vapor Deposition* didapatkan nanopartikel yang lebih merata distribusinya dan bentuk nanopartikel yang terlihat berbentuk batang-batang dan melonjong menyerupai jarum-jarum, didapatkan pula pengukuran nanopartikel dengan perbesaran 30.000x. Ditinjau dari bentuk partikelnya, AlN memiliki partikel seperti jarum yang tumbuh memanjang. Tetapi, untuk parameter waktu *sputtering*, temperatur, massa Al dan *holding time* dapat diukur panjangnya sebesar ± 275 nm karena bentuk partikel yang tidak memiliki diameter (lebar) sehingga di kategorikan nanopartikel 0 dimensi. Dan untuk hasil parameter yang lainnya memiliki ukuran rata-rata $p = \pm 400$ nm $l = \pm 2$ nm yang dikategorikan sebagai nanowire. Perbedaan hasil karakterisasi morfologi ini dapat terjadi karena penggunaan parameter proses dan proses sintesis yang digunakan, dimana pada penelitian ini menggunakan proses sintesis dengan metode *Physical Vapor Deposition*.

4.4.2 Analisis Hasil Karakterisasi *Energy Dispersive X-Ray* (EDX).

Sampel aluminium nitrida (AlN) diuji *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) untuk mengetahui komposisi dan persebaran senyawa dari aluminium nitrida. Adapun sampel yang diuji EDX adalah sampel pada temperatur 290°C dengan tekanan nitrogen 20 mbar, karena pada sampel tersebut menghasilkan morfologi dan persebaran aluminium nitrida yang merata. Pengambilan hasil EDX bisa dilihat pada Gambar 4.17 berikut ini.



Gambar 4.17 Pengujian EDX pada Temperatur Substrat 290°C dengan Tekanan Nitrogen 20 mbar

Dari Gambar 4.17 terlihat bahwa pertumbuhan aluminium nitrida sudah merata (homogen). Dari hasil EDX juga terlihat presentase dari Gambar SEM tersebut. Disebutkan bahwa, didapatkan unsur N pada kulit K sebesar 1,05% dengan berat atom 2,79%, unsur Al pada Kulit K sebesar 12,61% dan berat atom sebesar 17,45%, unsur Si pada kulit K sebesar 44,24% dan persen atom 58,81% dan unsur O pada kulit K sebesar 6,05% dengan persen atom 14,12%. Sedangkan untuk unsur Au di kulit M sebesar 36,05% dengan persen atom 6,83%. Hal ini menunjukkan bahwa aluminium telah bereaksi dengan gas nitrogen membentuk senyawa AlN di atas substrat SiO₂. Komposisi persebaran senyawa AlN dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Unsur pada Permukaan AlN

Element	Berat (%)	Atom (%)
NK	1,05	2,79
OK	6,05	14,12
AlK	12,61	17,45
SiK	44,24	58,81
AuM	36,05	6,83

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan Ramadhani dkk pada tahun 2016 menghasilkan unsur AlN dengan persentase unsur N pada kulit K 1,3 % dan unsur Al 42,74%, dimana pengujian EDX yang dilakukan pada permukaan AlN. Sedangkan pada pengamatan ujung nanowire didapatkan hasil persentase yang lebih besar.

Pengaruh perbedaan temperatur substrat dan tekanan nitrogen juga dapat dianalisa menggunakan *software* aplikasi imageJ untuk mengetahui persebaran dari senyawa AlN. Terlihat pada Tabel 4.5, menunjukkan distribusi pertumbuhan senyawa AlN semakin meningkat seiring bertambahnya tekanan nitrogen. Pada temperatur tinggi, memungkinkan atom-atom asing menyusup lebih dalam di antara celah-celah atom. Hal ini menyebabkan atom-atom terikat dan semakin kuat menempel pada bahan, sehingga kristal yang terbentuk akan memiliki

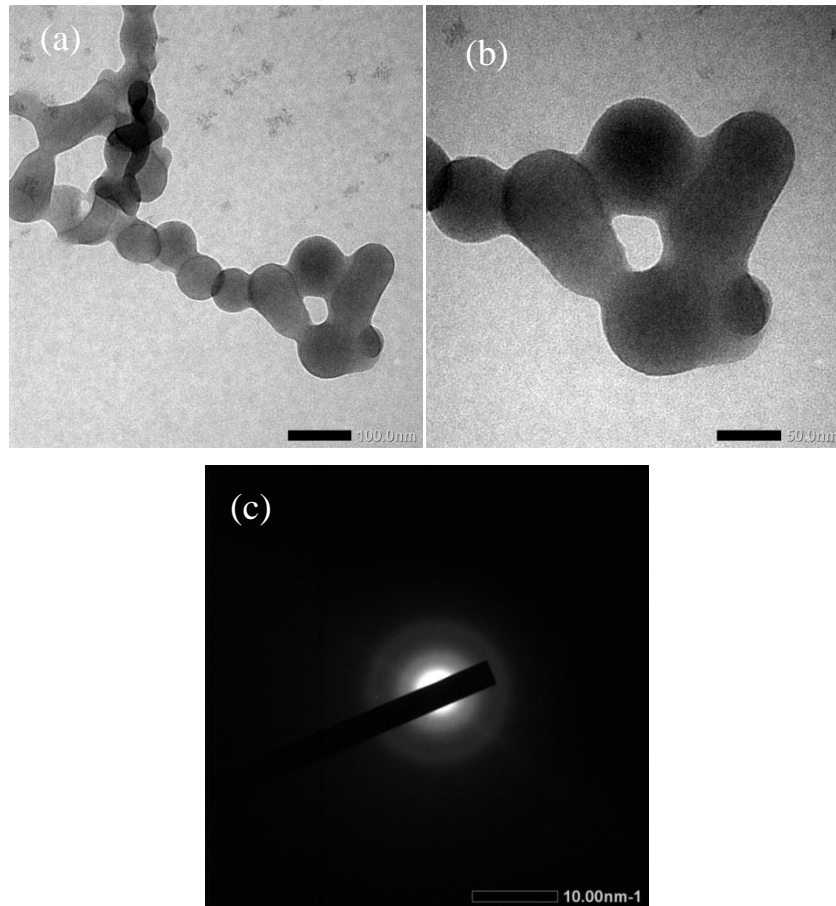
karakteristik yang baik (Van Plack, 2004). Ketika tekanan nitrogen 10 mbar, maka presentase persebaran senyawa AlN sebesar 23,49%. Apabila tekanan nitrogen 15 mbar, maka presentase persebaran senyawa AlN sebesar 43,56% dan ketika tekanan nitrogen 20 mbar, maka presentase persebaran yang dihasilkan paling tinggi, yaitu 52,04%.

Tabel 4.5 Persentase Pertumbuhan Senyawa AlN

Temperatur Substrat (°C)	Tekanan Nitrogen (mbar)	Persentase (%)
290	10	23.49
	15	43.56
	20	52.04

4.5 Analisis Karakterisasi *Transmission Electron Microscope* (TEM)

Pengujian *Transmission Electron Microscope* (TEM) digunakan untuk menganalisis morfologi, struktur kristal dan komposisi spesimen. TEM memberikan resolusi yang lebih tinggi dibandingkan SEM dan dapat memudahkan analisis ukuran nanomaterial. Pengujian TEM pada penelitian ini dilakukan menggunakan alat JEOL JEM-1400 dan dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.



Gambar 4.18 Hasil Pencitraan TEM pada Variasi Temperatur Substrat 290°C dan Tekanan Nitrogen 20 mbar (a) Perbesaran 20.000x dengan Skala 100nm, (b) Perbesaran 30.000x dengan Skala 50nm dan (c) Hasil Uji SAED Pola Cincin Difraksi

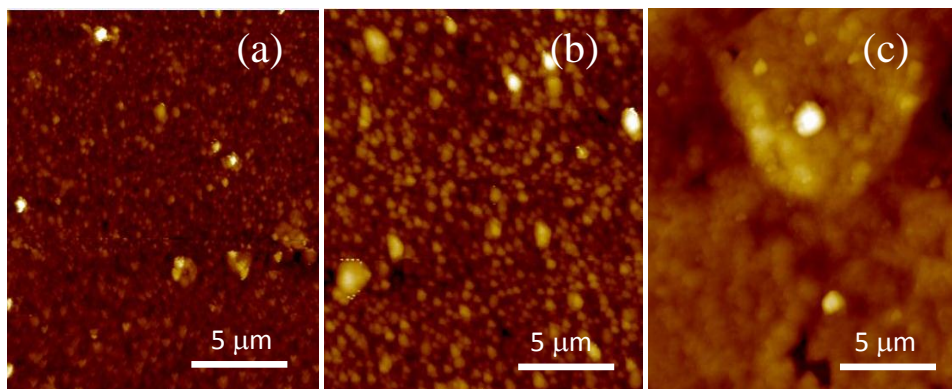
Hasil pencitraan TEM pada Gambar 4.18 (a) dan (b) menunjukkan bahwa AlN yang terbentuk merupakan nanomaterial dengan skala perbesaran 100 nm dan 20 nm, untuk parameter temperatur substrat 290°C dan tekanan nitrogen 20 mbar pada pengukuran didapatkan ukuran $\pm 64-87$ nm. Pada hasil Pengamatan morfologi sebelumnya dilakukan dengan SEM yang menunjukkan pencitraan morfologi AlN yang didapatkan kurang begitu jelas. Pada gambar pencitraan TEM dapat kita ketahui bahwa partikel berbentuk bulat-bulat yang cenderung bergabung sehingga berbentuk lonjong dan memanjang. Gambar 4.18 (c) menunjukkan hasil uji SAED, untuk analisis hasil difraksi didapatkan 1 titik pada pola cincin, setelah itu dilakukan perhitungan untuk nilai d-spacing. Hasil dari

perhitungan menunjukkan bahwa nilai d-spacing difraksi adalah 1.38163 pada notasi bidang (200). Hasil yang didapat bernilai hampir sama dengan nilai d-spacing dari hasil uji XRD yaitu 1.35653 pada bidang (200). Pada penelitian yang dilakukan Boles pada 2010 menggunakan metode VLS menunjukkan pencitraan hasil TEM yang lonjong memanjang. Hal ini menunjukkan bahwa hasil dari penelitian sebelumnya menghasilkan AlN dengan bentuk nanowire 1D yang ditunjukkan pada Gambar 2.21, sedangkan pada penelitian ini didapatkan nanopartikel.

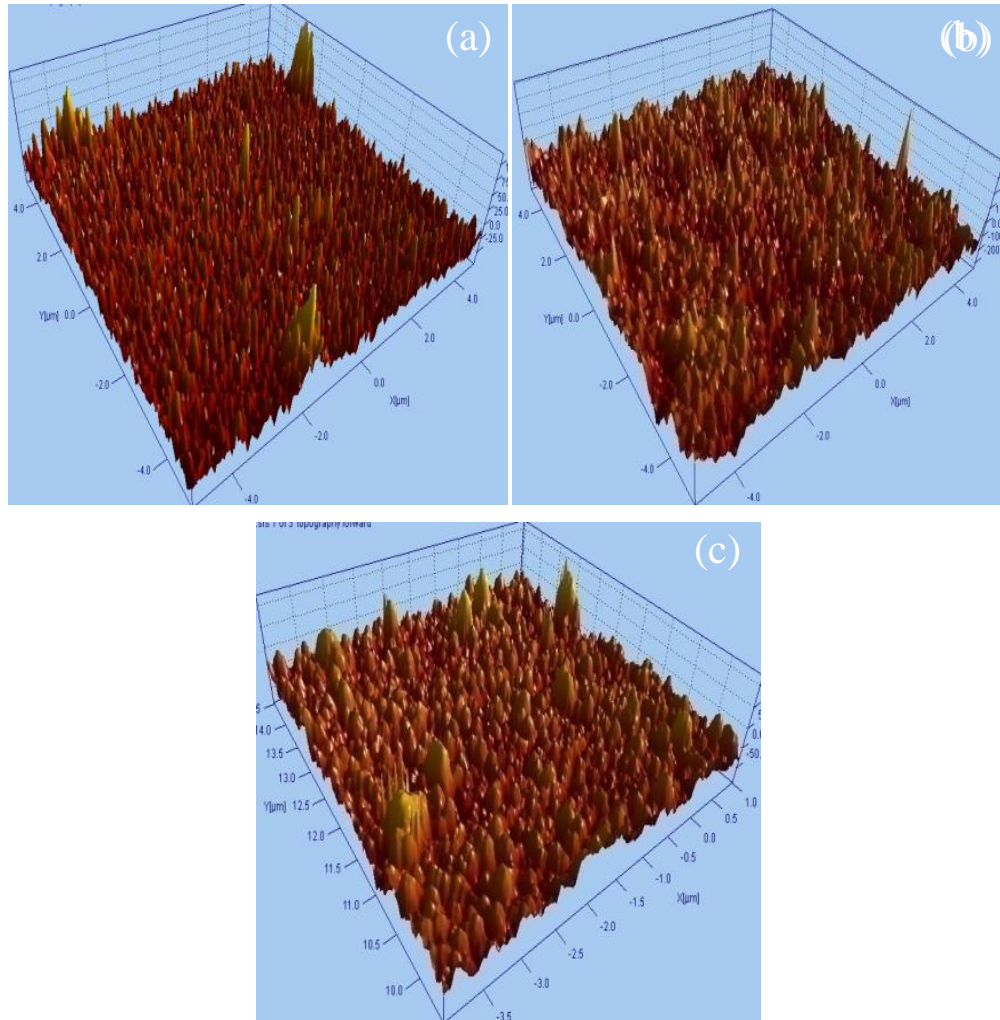
4.6 Analisis Karakterisasi *Atomic Force Microscope* (AFM)

Pengujian *Atomic Force Microscope* (AFM) digunakan sebagai media pengujian dispersi karena memiliki resolusi sangat besar sampai dengan skala nanometer (Haryo dkk, 2012). AFM dilakukan dengan menggunakan alat NEOS N8 dan dilakukan di Laboratorium Energi Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

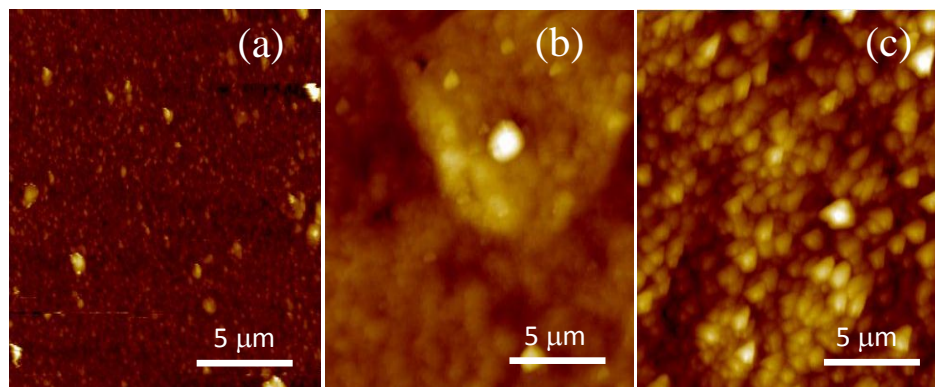
Gambar 4.19 menunjukkan persebaran AlN pada sampel uji dengan parameter temperatur substrat 200°C dan tekanan nitrogen, terlihat nilai kekasaran rata-rata pada permukaan sebesar 21,4 nm dan rata-rata nilai ketinggian adalah 15,4 nm. Dari pengujian AFM, terlihat bahwa distribusi warna pada hasil pengujian memiliki kontur yang kurang sama, sehingga dapat dikatakan bahwa persebaran AlN pada substrat SiO₂ kurang merata. Kontur yang terbentuk semakin merata dengan meningkatnya tekanan nitrogen yang diberikan.



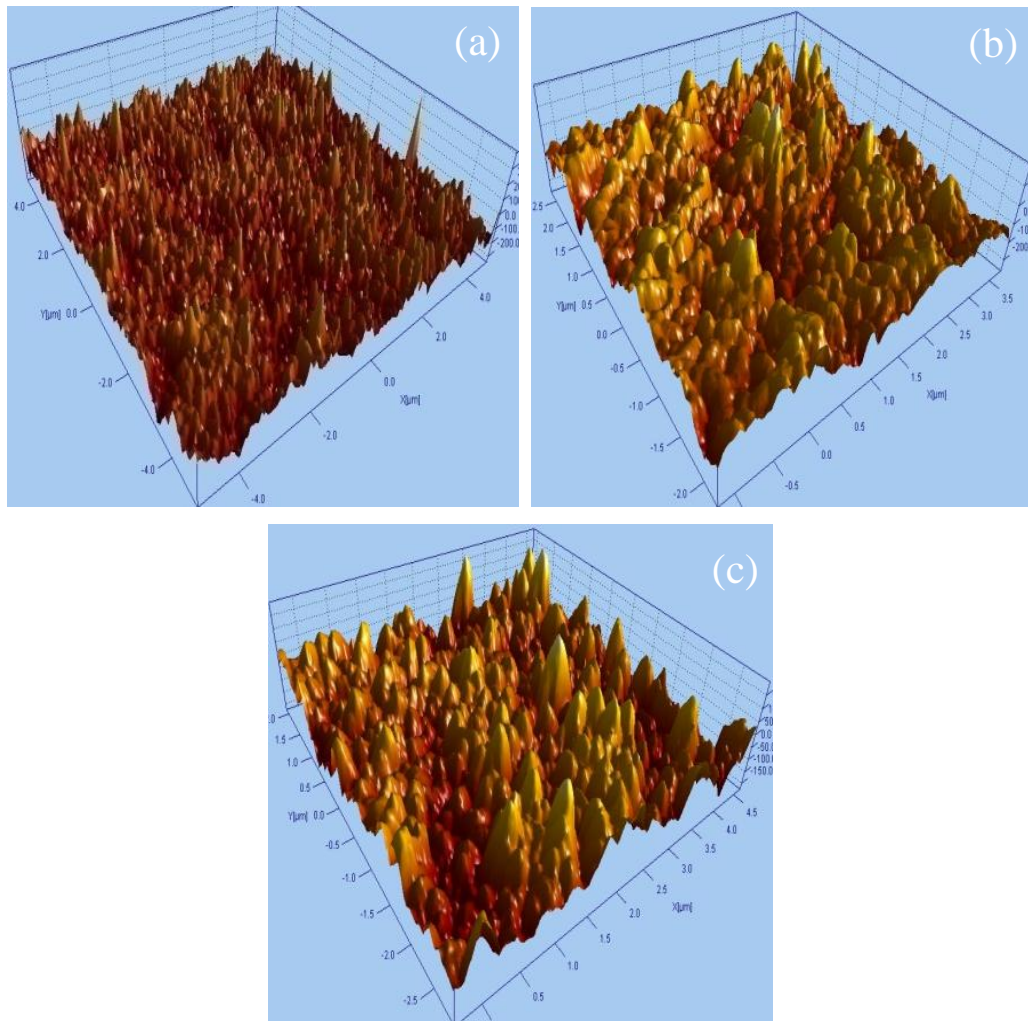
Gambar 4.19 Hasil Kontur 2D Pengujian AFM pada Temperatur 200 °C dengan Tekanan Nitrogen (a). 10 mbar, (b). 15 mbar dan (c). 20 mbar



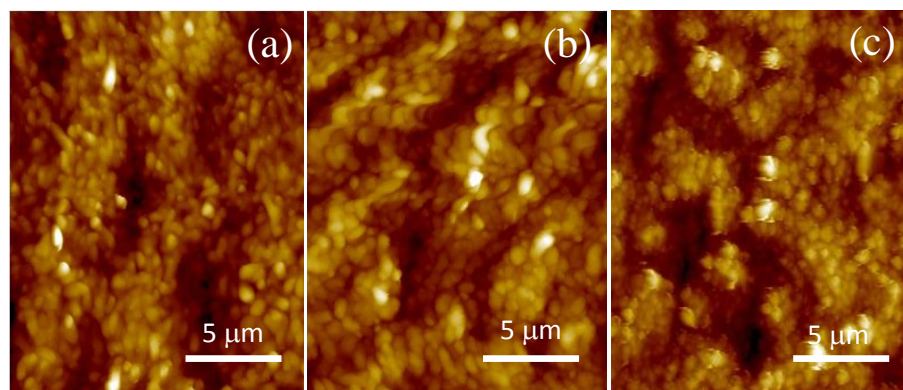
Gambar 4.20 Hasil AFM Topografi 3D Permukaan AlN pada Temperatur 200°C dengan Tekanan Nitrogen (a). 10 mbar, (b). 15 mbar dan (c). 20 mbar



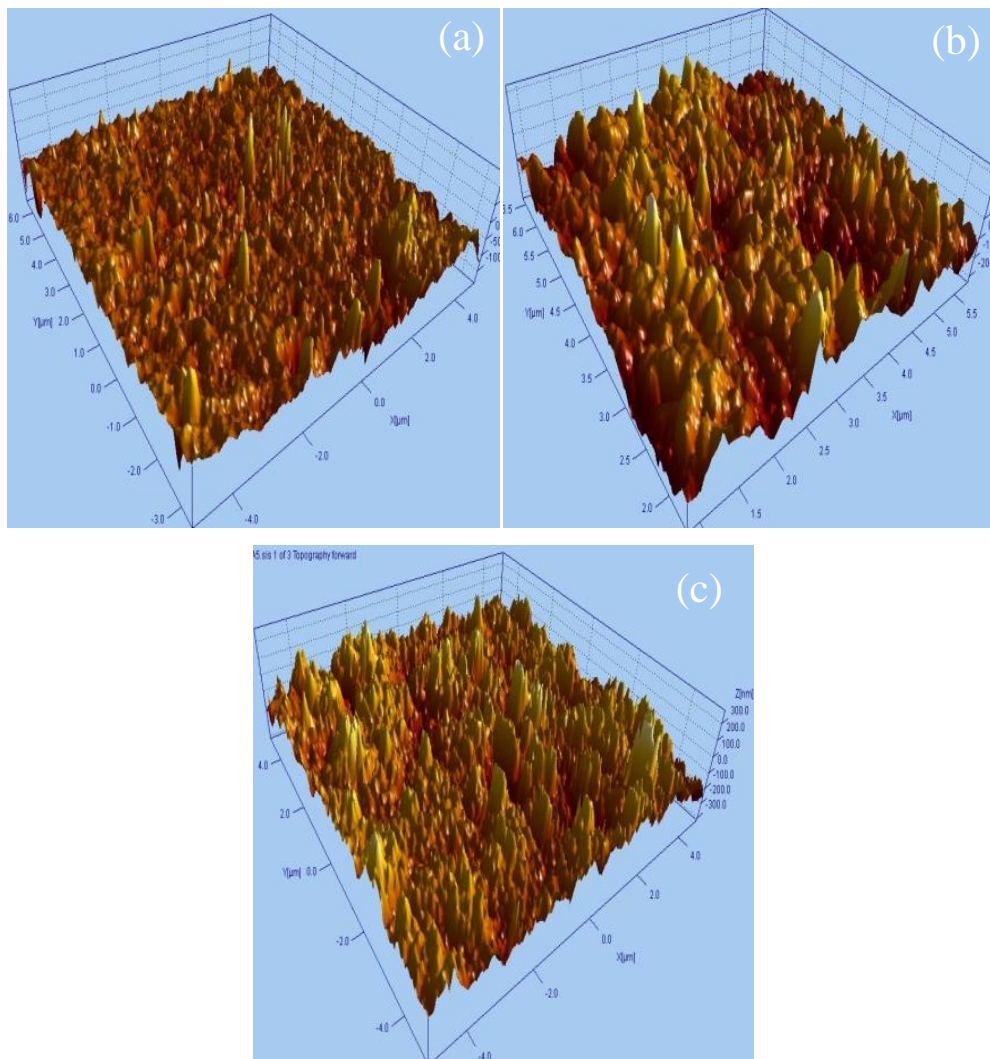
Gambar 4.21 Hasil Kontur 2D Pengujian AFM pada Temperatur 250°C dengan Tekanan Nitrogen (a). 10 mbar, (b). 15 mbar dan (c). 20 mbar



Gambar 4.22 Hasil AFM Topografi 3D Permukaan AlN pada Temperatur 250°C dengan Tekanan Nitrogen (a). 10 mbar, (b). 15 mbar dan (c). 20 mbar



Gambar 4.23 Hasil Kontur 2D Pengujian AFM pada Temperatur 290°C dengan Tekanan Nitrogen 20 mbar



Gambar 4.24 Hasil AFM Topografi 3D Permukaan AlN pada Temperatur 290°C dengan Tekanan Nitrogen (a). 10 mbar, (b). 15 mbar dan (c). 20 mbar

Tabel 4.6 Hasil Pengamatan Karakterisasi AFM pada AlN

Temperatur (°C)	Tekanan Nitrogen (mbarr)	Tinggi Maksimum (nm)	Tinggi Rata- Rata (nm)	Surface Roughness (nm)	Bentuk
200	10	189	11,4	15,4	Nanopartikel
	15	263	18,1	23,8	Nanopartikel
	20	330	16,6	24,9	Nanopartikel
250	10	295	19,9	27,7	Nanopartikel
	15	313	23,9	33,5	Nanopartikel
	20	423	44,5	56	Nanopartikel
290	10	561	53,5	68	Nanopartikel
	15	756	47,9	61,4	Nanopartikel
	20	692	66,4	84	Nanopartikel

Sesuai dengan karakteristik material AlN yang berukuran nanomaterial. Pada Gambar 4.20, dijelaskan bahwa nilai kekasaran rata-rata pada permukaan sebesar 39 nm dan rata – rata nilai ketinggian adalah 29,4 nm. Dari pengujian AFM, terlihat bahwa distribusi warna pada hasil pengujian mempunyai kontur yang trend warnanya cenderung meningkat dengan kenaikan tekanan nitrogen, sehingga dapat dikatakan bahwa persebaran AlN pada substrat SiO₂ merata untuk tekanan nitrogen paling besar. Sedangkan pada Gambar 4.22 di atas dapat kita ketahui bahwa nilai kekasaran rata – rata pada permukaan sebesar 71,1 nm dan rata – rata nilai ketinggian adalah 55,9 nm.

Hasil pengujian AFM terlihat bahwa distribusi warna kontur yang dihasilkan hampir sama, sehingga dapat dikatakan bahwa persebaran AlN pada substrat SiO₂ sudah merata. Gambar- Gambar kontur yang terbentuk dari kontras persebaran dan distribusi AlN dapat kita ketahui bahwa pada Gambar 4.22 dengan variasi temperatur substrat 290°C yakni parameter temperatur tertinggi dalam penelitian ini menghasilkan persebaran AlN paling merata dibandingkan parameter temperatur yang lainnya. Temperatur substrat mempengaruhi morfologi dari AlN. Apabila temperatur meningkat, maka menyebabkan mobilitas atom

aluminium juga semakin aktif, yang mengakibatkan tumbuhnya puncak- puncak atau pulau- pulau (Sun, M dkk 2015).

4.7 Hubungan Pengaruh Temperatur Substrat dan Tekanan Nitrogen Pada Pembentukan Nanomaterial Aluminium Nitrida (AlN)

Hasil pengamatan grafik XRD menunjukkan bahwa, senyawa AlN *nanomaterial* pada penelitian ini merupakan polikristal dan mempunyai struktur kristal heksagonal dengan hkl (200). Hasil intensitas tertinggi dipengaruhi banyaknya bidang-bidang pemantul pada susunan atom lapisan tipis. Semakin banyak bidang-bidang pemantul, interferensi dari gelombang terdifraksi akan saling menguatkan yang menyebabkan semakin tinggi pula intensitasnya. Hal ini sesuai dengan persamaan *debye scherer* yang mana nilai ukuran kristal yang dihasilkan berbanding terbalik dengan nilai FWHM. Sedangkan nilai FWHM yang didapatkan dipengaruhi oleh intensitas masing-masing bidang kristal, semakin tinggi intensitasnya maka nilai FWHM yang didapat juga semakin kecil. Sesuai dengan hukum Bragg ($n\lambda = 2d\sin\theta$), semakin tinggi nilai sudut difraksi maka nilai *interplanar spacing* (d) akan menjadi semakin kecil sehingga jarak antar atom menjadi semakin dekat. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya temperatur substrat dan tekanan nitrogen pada kristal yang ditandai dengan penurunan parameter kisinya semakin kecil atau rapat (Pemmasani, 2014).

Senyawa AlN juga mempunyai sifat optik, hal ini bisa terlihat dengan hasil pengujian FTIR. Senyawa AlN berpotensi diaplikasikan pada *window layer* di bagian LED, karena senyawa AlN mempunyai *wavenumber* antara 600-800 cm^{-1} . Nilai Hal ini berhubungan dengan nilai *Transverse Optical* (TO) yang mempunyai nilai panjang gelombang antara 600-700 cm^{-1} dan nilai panjang gelombang antara 800-1000 cm^{-1} termasuk dalam zona *Longitudinal Optical* (LO). Gelombang senyawa AlN merupakan senyawa inorganik (Fei dkk, 2012). Temperatur substrat dan tekanan nitrogen semakin besar, menunjukkan nilai transmisi yang optimal, hal ini dikarenakan tingkat kristalinitas dari senyawa AlN mampu menangkap *infra red* dengan baik.

Hasil Pengujian SEM/EDX menunjukkan morfologi dan persebaran komposisi senyawa AlN, Au dan SiO₂. Temperatur substrat dan tekanan nitrogen

mempengaruhi hasil pembentukan *nanomaterial* dari senyawa AlN. Hubungan variabel tekanan nitrogen, menunjukkan bahwa semakin besar tekanan nitrogen yang diperlukan, maka AlN *nanomaterial* akan semakin terbentuk dan merata. Hal ini sesuai dengan penelitian Wu Wan-Yu pada tahun 2016, dikarenakan semakin besar tekanan nitrogen menyebabkan laju nitrogen yang semakin besar pula yang dapat menyebabkan banyaknya unsur nitrogen yang berikatan dengan aluminium sehingga berpotensi membentuk senyawa AlN dengan prosentase persebaran yang lebih besar. Apabila dilanjutkan, maka *nanomaterial* tersebut akan membentuk *thin film*. Temperatur substrat yang tinggi mempengaruhi arah pertumbuhan *nanomaterial* AlN. Apabila temperatur substrat yang digunakan semakin tinggi, pertumbuhan batang *nanomaterial* AlN dapat terbentuk lebih panjang. Arah pertumbuhan mempunyai orientasi yang berbeda-beda, hal ini dikarenakan adanya proses nukleasi dari *nanomaterial* tersebut (Ji, dkk 2005).

Pengujian AFM pada variabel temperatur substrat dan tekanan nitrogen menunjukkan bahwa, atom-atom aluminium dan nitrogen telah bereaksi membentuk *nanomaterial* AlN, dimana topografi dari senyawa AlN tumbuh ke atas yang berbentuk seperti jarum. Peningkatan parameter pada temperatur substrat dan tekanan nitrogen mempengaruhi jumlah kekasaran permukaan dari senyawa AlN yang dihasilkan, hal ini dikarenakan aglomerasi saat pendeposisian material target pada lapisan yang terbentuk. Hal inilah yang menyebabkan ukuran partikel menjadi semakin besar dan menghasilkan topografi dengan puncak yang tinggi dan lebar. Sehingga apabila permukaan semakin kasar, maka permukaan tersebut akan menghalangi proses transportasi arus dalam material semikonduktor. Berlaku sebaliknya, apabila permukaan yang dihasilkan semakin halus, maka material tersebut berpotensi digunakan sebagai material semikonduktor (Yu L, dkk 2007).

4.8 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Pada karakterisasi XRD didapatkan nilai intensitas yang tertinggi 431325 cts pada $2\theta=69.21^\circ$ beserta dua puncak lainnya yang menyatakan bahwa material AlN dari hasil karakterisasi ini adalah polikristal dengan struktur kristal hexagonal yang memiliki hkl (200) diwakili oleh bidang (100) pada $2\theta=33.1^\circ$ bidang (101) pada $2\theta=38.07^\circ$ dan bidang (200) pada $2\theta=69.21^\circ$. Apabila dibandingkan dengan hasil penelitian Ramadhani dkk pada tahun 2016 dengan metode VLS hasil intensitas yang didapatkan lebih rendah, dan puncak yang didapatkan hampir sama. Penelitian yang dilakukan Wei dkk pada tahun 2014 didapatkan fasa AlN dengan 2 kecocokan data dengan intensitas yang lemah meskipun menghasilkan puncak yang lebih banyak. Selain itu pada penelitian ini hanya memerlukan temperatur proses sintesis yang relative rendah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

Untuk sifat optik pada AlN yang merupakan senyawa anorganik dapat dilihat memiliki kesesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Mortet dkk pada tahun 2003 muncul panjang gelombang pada zona LO berada pada panjang gelombang $800-1000\text{ cm}^{-1}$ sedangkan zona TO berada pada panjang gelombang $600-700\text{ cm}^{-1}$. Akan tetapi pada material ini juga menghasilkan penyerapan obligasi N-Al-N pada $2000-2200\text{ cm}^{-1}$ (Yate dkk, 2009). Sehingga bisa diketahui bahwa material AlN yang dihasilkan memiliki sifat semikonduktor yang bisa dilanjutkan untuk penelitian pada device optoelectronic.

Pada penelitian lain yang dilakukan Daniel pada tahun 2012 yaitu dengan uji karakterisasi SEM didapatkan morfologi seperti jarum dan akar yang memanjang yang tumbuh tidak beraturan dapat dilihat pada Gambar 2.4. Selain itu penelitian dengan metode VLS pada substrat SiO₂ berhasil menumbuhkan AlN nanowire yang terlihat morfologinya pada $5\text{ }\mu\text{m}$, didukung dengan data SEM-EDX yang menunjukkan kesesuaian unsur yang di teliti yaitu Al, N, Pd, Au, Si, dan O terutama peran Pd/au yang berfungsi sebagai katalis berada pada ujung AlN (Ramadhani dkk, 2016). Sedangkan hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Wu-Yuan pada tahun 2016 menghasilkan nanopartikel AlN dengan hasil bintik-bintik putih. Hal ini membuktikan bahwa hasil uji SEM-EDX yang didapatkan

pada penelitian ini lebih baik dari pada penelitian sebelumnya, meskipun sama-sama menggunakan metode *reactive sputtering*.

Untuk karakterisasi AFM yang juga dilakukan seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Ji dkk pada tahun 2005 dengan variasi temperatur substrat 200° - 400°C memiliki kekasaran permukaan pada sumbu z sekitar 83-105 nm. Berbeda dengan hasil uji AFM yang sudah diteliti didapatkan nilai kekasaran permukaanya adalah 15,4-84 nm. Hal ini menunjukkan bahwa AlN yang dihasilkan pada penelitian ini mempunyai kekasaran permukaan yang lebih baik dan merata dari pada penelitian sebelumnya. Sesuai dengan teori bahwa permukaan yang homogen dari film tipis semikonduktor akan memberikan kontribusi terhadap mekanisme transpor arus didalam bahan akan semakin baik bila dibandingkan dengan permukaan yang kasar (tidak homogen). Batas antar butir yang besar pada film tipis dengan permukaan kasar akan bertindak sebagai penghalang sehingga mekanisme transport arus yang melewatinya akan semakin menurun (Yu, 2007), sehingga kekasarannya jauh lebih baik dari penelitian sebelumnya.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa sintesis senyawa aluminium nitrida (AlN) telah berhasil dilakukan dengan menggunakan metode *reactive sputtering* di atas substrat SiO₂. Pada penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa:

1. Hasil pengujian XRD menunjukkan material AlN yang terbentuk mempunyai struktur hexagonal, pada sudut $2\theta = 69,20^\circ$ dengan bidang hkl (200).
2. Hasil dari pengujian *Fourier Transmission Infra Red* (FTIR) menunjukkan terbentuknya senyawa AlN pada *wavenumber* $600 - 800\text{ cm}^{-1}$.
3. Hasil dari pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Atomic Force Microscope* (AFM) dan *Transmission Electron Microscope* (TEM) menunjukkan bahwa terbentuknya morfologi AlN pada permukaan substrat yang semakin merata dan teratur dengan meningkatnya temperatur substrat yang digunakan. Material AlN yang terbentuk merupakan nanopartikel berukuran 64- 87 nm.
4. Secara umum kenaikan temperatur substrat dan tekanan gas nitrogen meningkatkan kristalinitas dan morfologi yang terbentuk semakin merata dan teratur.

5.2 Saran

Beberapa saran yang bisa digunakan sebagai bahan pertimbangan dan bahan acuan untuk penelitian-penelitian selanjutnya, pada variasi proses deposisi AlN disarankan menggunakan parameter waktu pada proses *Reactive Sputtering* dan menaikkan temperatur substrat yang digunakan untuk mendapatkan kualitas nanomaterial yang semakin bagus. Selain itu, diharapkan dapat dilakukan pengujian lebih lanjut seperti uji photoluminescen dan uji IR Spektra untuk mendapatkan hasil material yang ideal yang dapat di aplikasikan pada semikonduktor LED.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- A. Sanz-Hervás, E. Iborra, M. Clement, J. Sangrador, and M. Aguilar, "Influence of crystal properties on the absorption IR spectra of polycrystalline AlN thin films", *Diamond Relat. Mater.*, vol. 12, pp.1186-1189, 2003.
- Atmono, Simbolon S, dan Prasetyowati. (2003). "Deposisi Lapisan Tipis SiN Menggunakan Teknik DC *Magnetron Sputtering* Untuk Pelindungan Korosi pada Logam Besi" ISSN 2086-4128.
- Bae, J.,Thompson-Flagg, R., Ekerd, J.G., and Shih, C. (2008). "Pattern formation of nanoflowers during the vapor-liquid-solid growth of silicon nanowires". *Physica B*, 403:3514-3518.
- Chang, J, R.Yakimova, Aligned AlN nanowires by self-organized vapor–solid growth, *Nanotechnology* 20 (2009) 495304.
- Dae, S.L., Jung, H.L., Yong,H.L.and Duk, D.L. (2003). "GaN Thin Films as Gas Sensors". *Sensors and Actuators*, B89,305
- Dyzia, M dan Sleziona, J. (2008)," *Aluminium Matrix Composites Reinforced with AlN Particles Formed by in Situ Reaction*", Poland, 17-20.
- E. Iborra, M. Clement, L. Vergara, A. Sanz-Hervás, J. Olivares, and J. Sangrador, "Dependence of the IR reflectance LO absorption bands on the crystalline texture of AlN films", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 88, 231901,2006.
- Grynko, A.D., Fedoryak, A.N., Dimitriev, O.P., Lin, A., Laghumavarapu, R.B., dan Huffaker, D.L. (2013). Growth of CdS nanowire crystals: Vapor-liquid-solid versus vapor-solid mechanisms. *Surface & Coatings Technology*, 230:234-238.
- Hayakawa, S., Wasa, K. (1992). *Handbook of Sputter Deposition Technology: Principles, Technology and Application*. New Jersey. Noyes Publication.
- Held, G, (2009), *Introduction to Light Emitting Diode Technology and Applications*, New York.
- Jeong, H., Park, T.E., Seong, H.K., Kim, M., Kim, U., dan Choi, H.J. (2009), "Growth kinetics of silicon nanowires by platinum assisted vapour-liquid-solid mechanism", *Chemical Physics Letters*, 467:331:334.

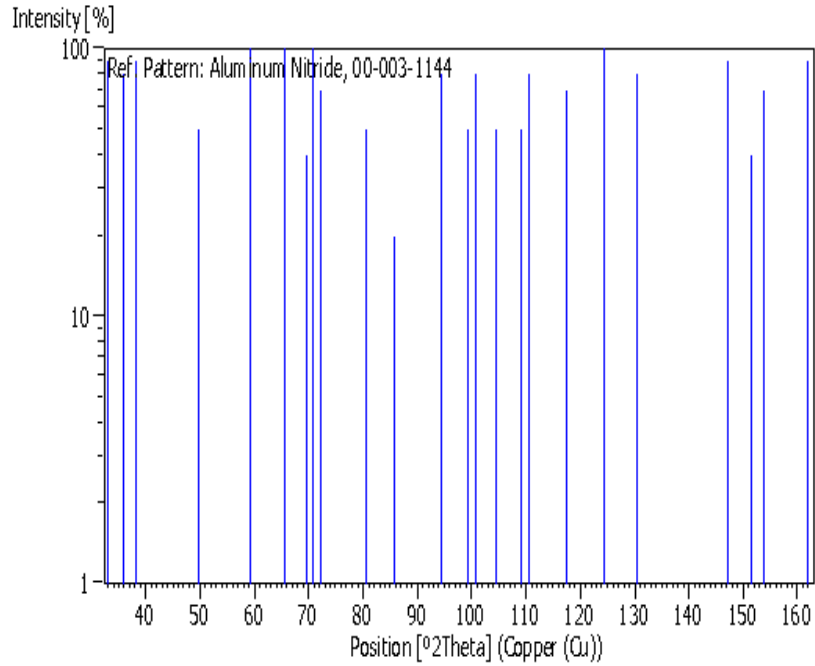
- Ji, Y., Ma, L.B., dan Cao, Z.X. (2005), "Effect of substrate temperature on the growth of ternary Al-C-N thin films by reactive magnetron sputtering", *Journal of Crystal Growth*, 279:420–424
- Lee, Hwan-Chul dkk (1995). "Effect of hydrogen addition on the preferred orientation of AlN films prepared by reactive sputtering". *Thin Solid Films*, 271:50-55
- Lei, M dkk (2008). "Large-scale AlN nanowires synthesized by direct method". *Material Letters*, 467:331:334.
- Mattox, D.M (2010). "Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing (Second Edition)". William Andrew Applied Science Publishers.
- Abdullah dan Khairurrijal, (2008) "Review:Karakterisasi Nanomaterial", Jurnal Nanosains & Nanoteknologi vol. 2 no. 1 ITB, Bandung : Indonesia
- Mortet, V dkk (2003). "Aluminium nitride films deposition by reactive triode sputtering for surface acoustic wave device applications". *Surface Coatings and Technology*. 176:88–92
- Planck Van, R. P. Devaty, and W. J. Choyke, "Infrared reflectance of thin aluminum nitride films on various substrates", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 62, pp. 750-752, 2009.
- Schupp, T., Meisch, T., Neuschl, B., Feneberg, M., Thonke, K., Lischka, K., dan As, D.J. (2011). "Zinc-blende GaN quantum dots grown by vapor-liquid-solid condensation". *Journal of Crystal Growth*, 323:286-289.
- Schroder, K.D. 2006. Semiconductor Material and Device Characterization. Canada: Jhon wiley & sons, inc.
- Singh, Jasprit. 1995. Semiconductor Optoelectronics Physics and Technology. *McGraw-Hill, Inc.* ISBN 0-07-057637-8
- Siswanto, Bambang, Wirjoardi, T. M. Atmono, Yunanto. 2006. Karakterisasi Sifat Optik Lapisan Tipis a-Si:H:B untuk Bahan Sel surya. *GANENDRA*, Vol. IX, No. 2. ISSN 1410-6951, 31-37
- Shi, Zhongqi Shi (2014). "Combustion synthesis of AlN nanowhiskers with different metallic catalysts" *Journal of Crystal Growth*, 323:286-289.

- Strate, Kim Dael (2006). "Influence of incidence angle and distance on the structure of aluminium nitride films prepared by reactive magnetron sputtering" *Thin Solid Films* 515;2860–2863
- Taniyasu, M. Kasu, and T. Makimoto,(2006). "Aluminum Nitride Deep ultraviolet Light-emitting Diodes," *NTT Technical Review*, Vol. 4,No. 12, pp. 54–58.
- Wei, Z.Q., Zhang, Liu J.Y. (2014). "Effects of sputtering pressure on nanostructure and nanomechanical properties of AlN films prepared by RF reactive sputtering", *Trans. Nonferrous Metallurgy*. Vol 2, 2845–2855.
- Wolf, B. (1995). "Handbook of Ion Sources", CRC Press, New York.
- Wolfe, G.J., Petrosky, C.J., Quinto, D.T. (1986). *The Role of Hard Coatings in Carbide Milling Tools. Jurnal of Vacuum Science & Technology: A Vacuum, Surface, and Films* Vol.4, 2747-2754.
- Wu Hue Min, A., Yi Wen Peng (2011). "Investigation of the Growth and Properties of Single-Crystalline Alumunium Nitrides Nanowires". *Ceramics Material*, 548:4847-4851.
- Wu, Z., Zhang, W., Hu, H., Zuo, S., Wang, F., Yan, P., Wang, J., Zhuo, R., dan Yan, D. (2014). "Effect of temperature on growth and ultraviolet photoluminescence of Zn doped AlN nanostructures", 95-98.
- Yoon, Jong-Hwan. (2014). "Alternative vapor-liquid-solid process in Au-assisted growth of silica nanowires". *Materials Letters*, 123:131-134.
- Yu, Leshu., Lv, Y., Zhang, X., Zhang, Y., Zou, R., dan Zhang, F. (2011). "Vapor-liquid-solid growth route to AlN nanowires on Au-coated Si substrate by direct nitridation of Al powder". *Journal of Crystal Growth*, 334:57-61.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

A. JCPDS Card 03-1144 untuk AlN



Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	0	0	2.70000	33.153	90.0
2	0	0	2	2.49000	36.041	80.0
3	1	0	1	2.36000	38.101	90.0
4	1	0	2	1.83000	49.787	50.0
5	1	1	0	1.56000	59.179	10.0
6	1	0	3	1.42000	65.703	100.0
7	2	0	0	1.35000	69.583	40.0
8				1.33000	70.785	100.0
9				1.31000	72.033	70.0
10	2	0	2	1.19000	80.678	50.0
11	1	0	4	1.13000	85.950	20.0
12	2	0	3	1.05000	94.381	80.0
13				1.01000	99.401	50.0
14	2	1	1	1.00000	100.762	80.0
15	1	1	4	0.97400	104.532	50.0
16	2	1	2	0.94600	109.031	50.0
17				0.93800	110.413	80.0
18	3	0	0	0.90100	117.506	70.0
19				0.87100	124.352	100.0
20				0.84800	130.563	80.0
21				0.80300	147.185	90.0
22				0.79500	151.361	40.0
23	3	0	3	0.79100	153.727	70.0
24				0.78000	161.909	90.0

Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal
Space group: P63mc
Space group number: 186

a (Å): 3.1130
b (Å): 3.1130
c (Å): 4.9810
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 120.0000

Measured density (g/cm³): 3.05
Volume of cell (10⁶ pm³): 41.80
Z: 2.00

RIR: -

Status, subfiles and quality

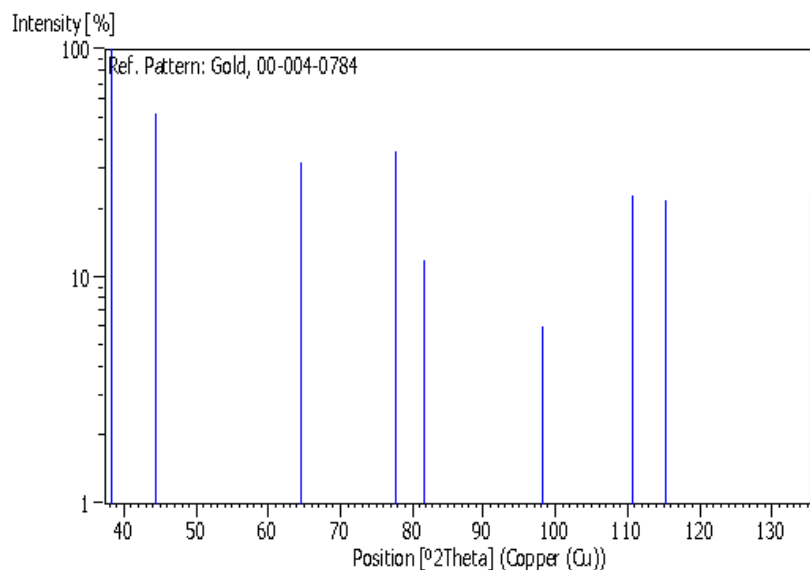
Status: Marked as deleted by ICDD
Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
Ceramic
Common Phase
Forensic
Inorganic
Superconducting Material
Quality: Low precision (O)

Color: Yellow
Creation Date: 1/1/1970
Modification Date: 1/11/2011
Color: Yellow
Deleted Or Rejected By: Delete: see letter of June 4, 1956, from Post. Melting Point: 2473 K

B. JCPDS Card 04-0784 untuk Au

Date: 11/3/2016 Time: 3:45:55 PM User: Teknik Material

File: 00-004-0784



Date: 11/3/2016 Time: 3:45:55 PM User: Teknik Material

File: 00-004-0784

User: Teknik Material

Comments

Color: Yellow metallic
Creation Date: 1/1/1970
Modification Date: 1/11/2011
Analysis: Spectrographic analysis (%): Si 0.001, Ca 0.001, Ag 0.001(?). Color: Yellow metallic. Melting Point: 1334.6-1336.2 K. Opaque Optical Data: Opaque mineral optical data on specimen from unspecified locality: RR2Re=71.6, Disp.=16, VHN100=53-58, Color values=.384, .391, 72.7, Ref.: IMA Commission on Ore Microscopy QDF. Sample Source or Locality: Sample purified at NBS, Gaithersburg, Maryland, USA and is about 99.997% Au. Temperature of Data Collection: Pattern taken at 299 K. Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

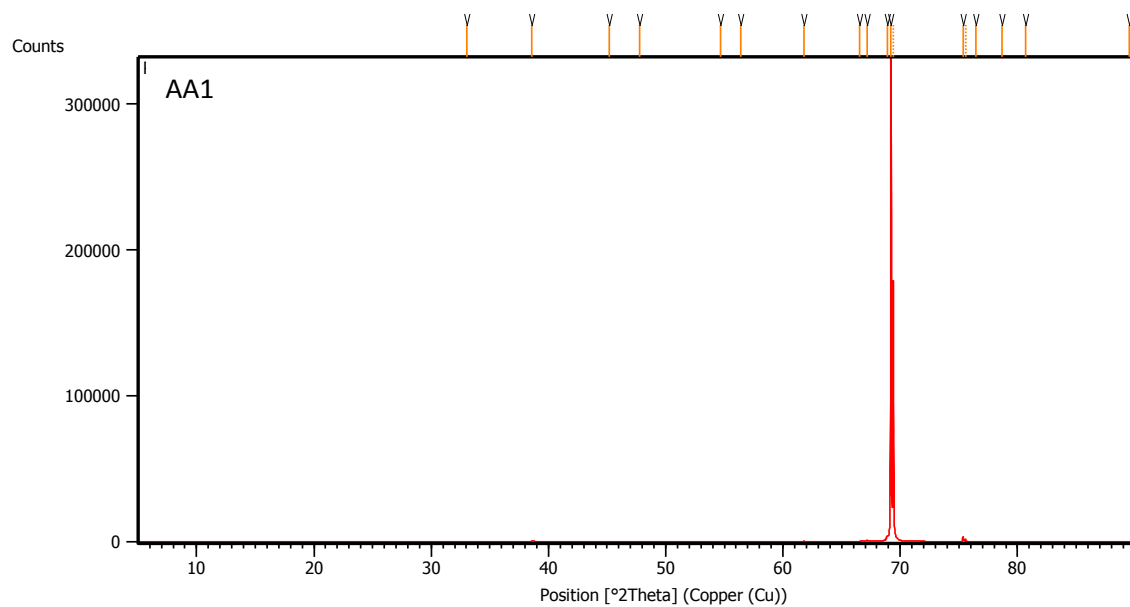
References

Primary reference: Swanson, Tatge., *Natl. Bur. Stand. (U. S.), Circ. 539*, I, 33, (1953)
Optical data: Winchell, *Elements of Optical Mineralogy*, 17

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	2.35500	38.185	100.0
2	2	0	0	2.03900	44.393	52.0
3	2	2	0	1.44200	64.578	32.0
4	3	1	1	1.23000	77.549	36.0
5	2	2	2	1.17740	81.724	12.0
6	4	0	0	1.01960	98.137	6.0
7	3	3	1	0.93580	110.802	23.0
8	4	2	0	0.91200	115.264	22.0
9	4	2	2	0.83250	135.423	23.0

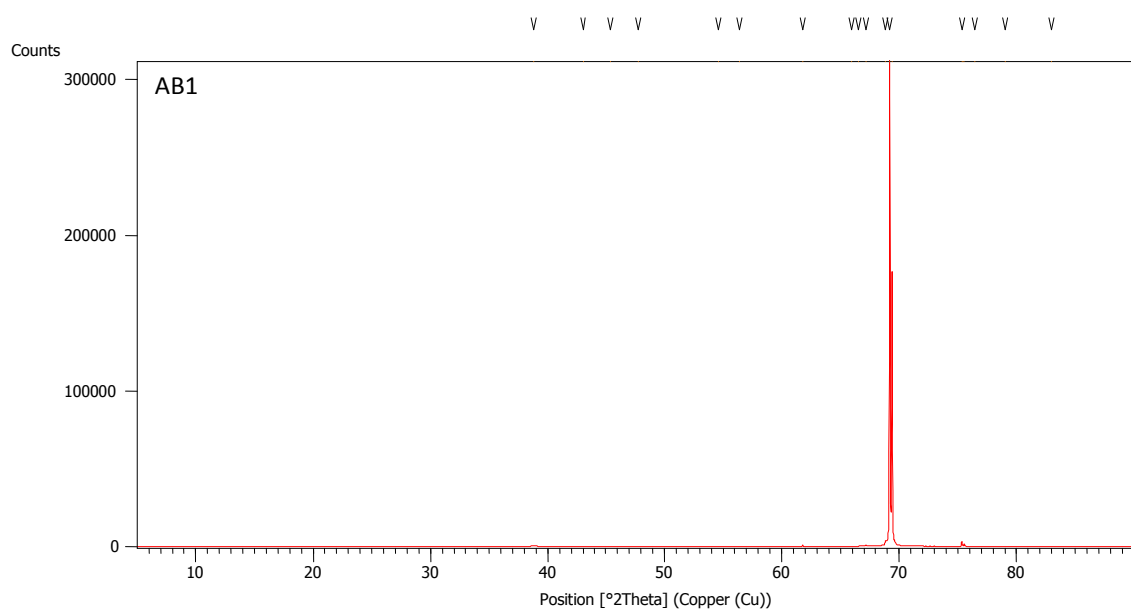
1. AlN pada temperatur pertumbuhan 200 °C variasi tekanan nitrogen 10 mBar.(AA1)



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
33.1079	94.70	0.0502	2.71299	0.03
38.5868	321.44	0.1004	2.33330	0.10
45.1631	32.53	0.8029	2.00766	0.01
47.7941	139.93	0.0612	1.90153	0.04
54.6370	99.02	0.0612	1.67844	0.03
56.4050	194.54	0.0612	1.62996	0.06
61.7673	886.66	0.0816	1.50069	0.26
66.5611	574.07	0.0816	1.40376	0.17
67.1549	1290.02	0.0612	1.39278	0.38
68.8686	3587.65	0.1020	1.36225	1.07
69.2123	335503.50	0.0816	1.35632	53.93
69.4092	185025.40	0.0612	1.35632	100.00
75.3456	3210.80	0.0612	1.26041	0.96

75.5515	1634.24	0.0612	1.26061	0.49
76.4419	93.25	0.2040	1.24504	0.03
78.6572	13.34	0.9792	1.21543	0.00
80.6724	30.83	0.2448	1.19007	0.01
89.5016	52.51	0.1224	1.09414	0.02

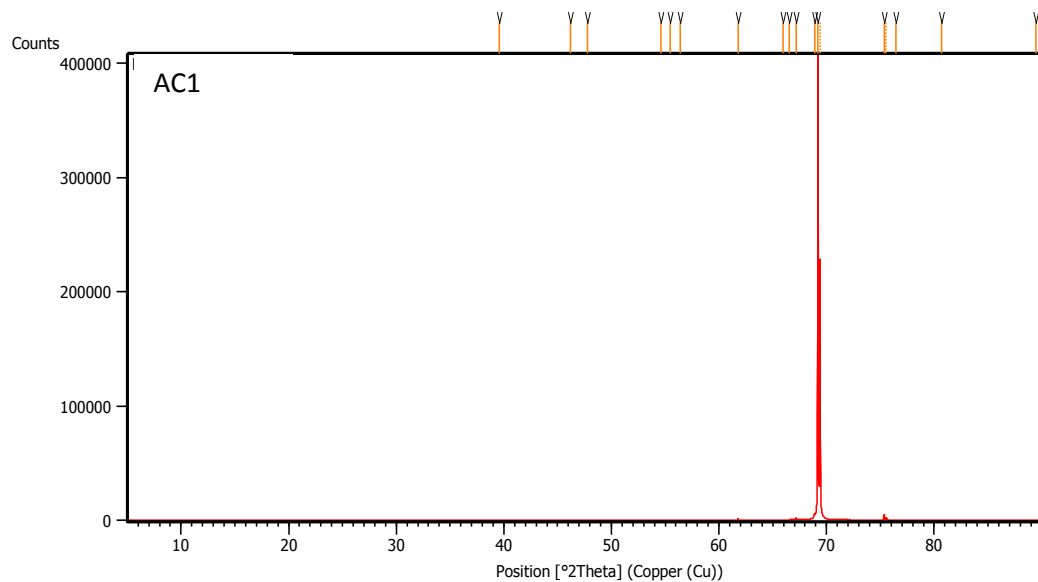
2.AIN pada temperatur pertumbuhan 250 °C variasi tekanan nitrogen 10 mBar (AB1)



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
38.0725	787.72	0.1673	2.32255	0.25
42.9965	22.97	0.8029	2.10367	0.01
45.3662	78.12	0.4684	1.99914	0.02
47.7830	115.29	0.0612	1.90194	0.04
54.6341	83.89	0.0816	1.67853	0.03
56.4041	205.48	0.0612	1.62998	0.06
61.7607	854.13	0.0816	1.50084	0.27
65.9571	53.19	0.1171	1.41632	0.02

66.5561	511.41	0.1020	1.40386	0.16
67.1461	1207.42	0.0612	1.39295	0.38
68.8601	3367.97	0.1020	1.36240	1.06
69.2047	318419.60	0.0816	1.35642	55.40
69.4034	176416.10	0.0816	1.35645	100.00
75.3384	3087.04	0.0816	1.26051	0.97
75.5439	1551.53	0.0816	1.26071	0.49
76.4377	92.59	0.1224	1.24509	0.03
79.0376	25.23	0.6528	1.21053	0.01
82.9646	15.95	0.8160	1.16291	0.01

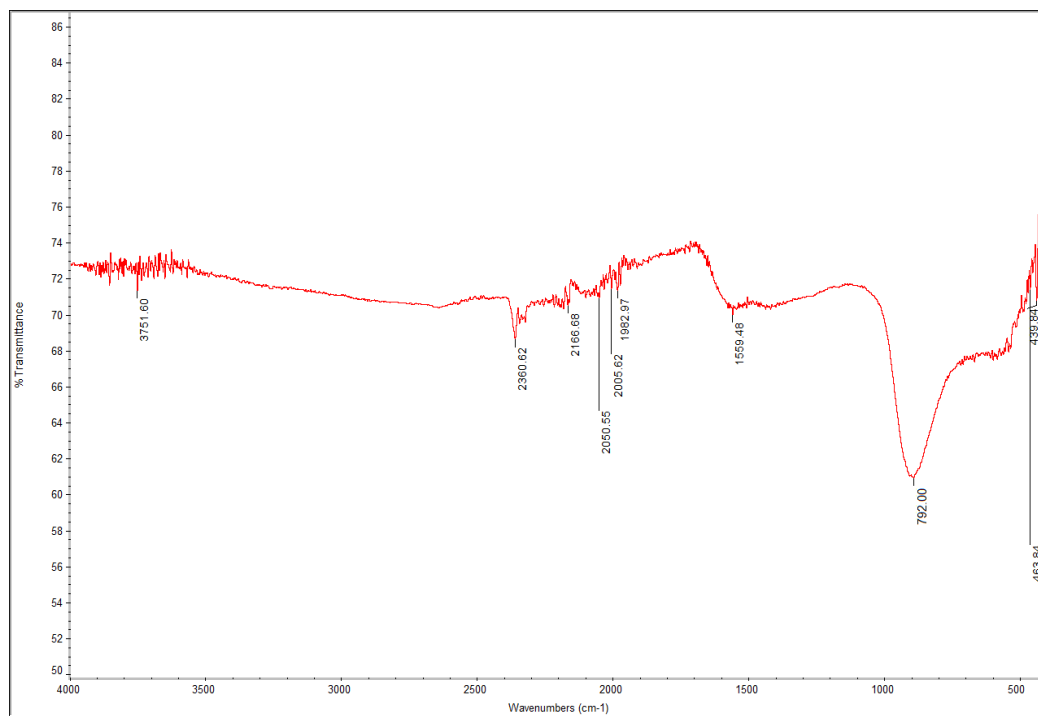
3. AlN pada temperatur pertumbuhan 290°C variasi tekanan nitrogen 10 mBar (AC1)



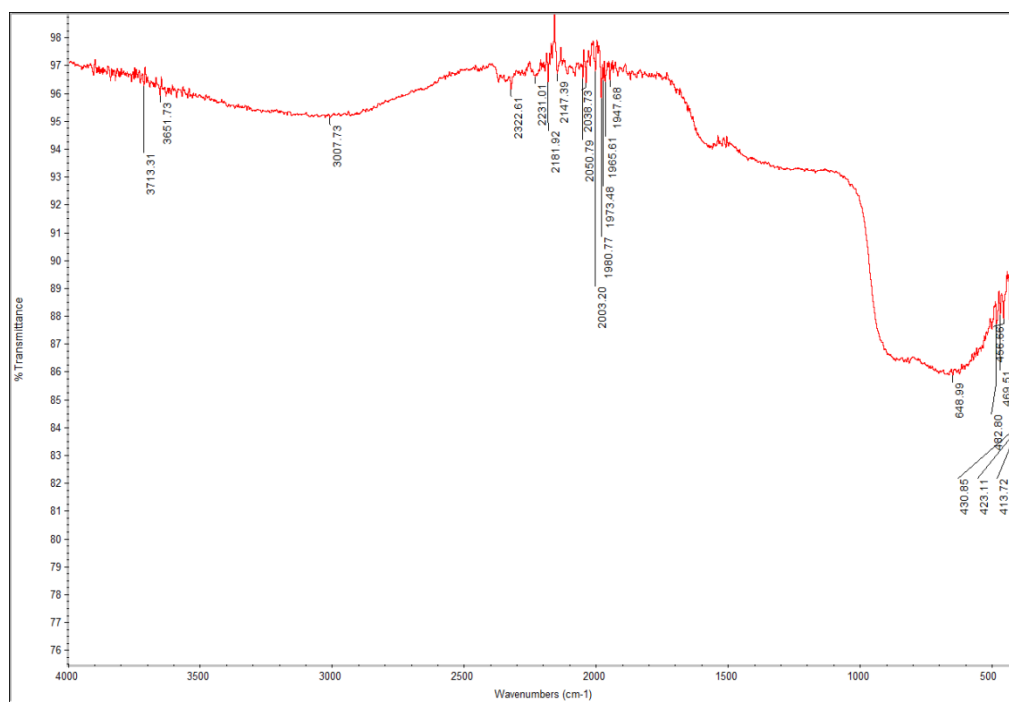
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
39.6076	162.22	0.2676	2.27549	0.04
46.2172	18.65	0.8029	1.96429	0.00
47.7824	152.51	0.0669	1.90354	0.04
54.6263	123.02	0.0816	1.67875	0.03
55.4739	36.01	0.1004	1.65646	0.01
56.3977	252.33	0.0816	1.63015	0.06
61.7549	1208.77	0.0816	1.50096	0.29
65.9514	44.00	0.0612	1.41525	0.01
66.5561	741.90	0.1020	1.40386	0.18
67.1434	1691.19	0.0816	1.39300	0.41
68.8747	5006.68	0.1224	1.36214	1.22
69.2014	409777.40	0.0816	1.35650	56.84
69.3988	232933.70	0.0612	1.35651	100.00
75.3344	4400.94	0.0816	1.26057	1.07
75.5402	2260.13	0.0816	1.26077	0.55
76.4315	119.72	0.1632	1.24518	0.03
80.7047	55.87	0.2448	1.18968	0.01
89.4882	94.31	0.1020	1.09427	0.02

Hasil Peak Uji FT-IR

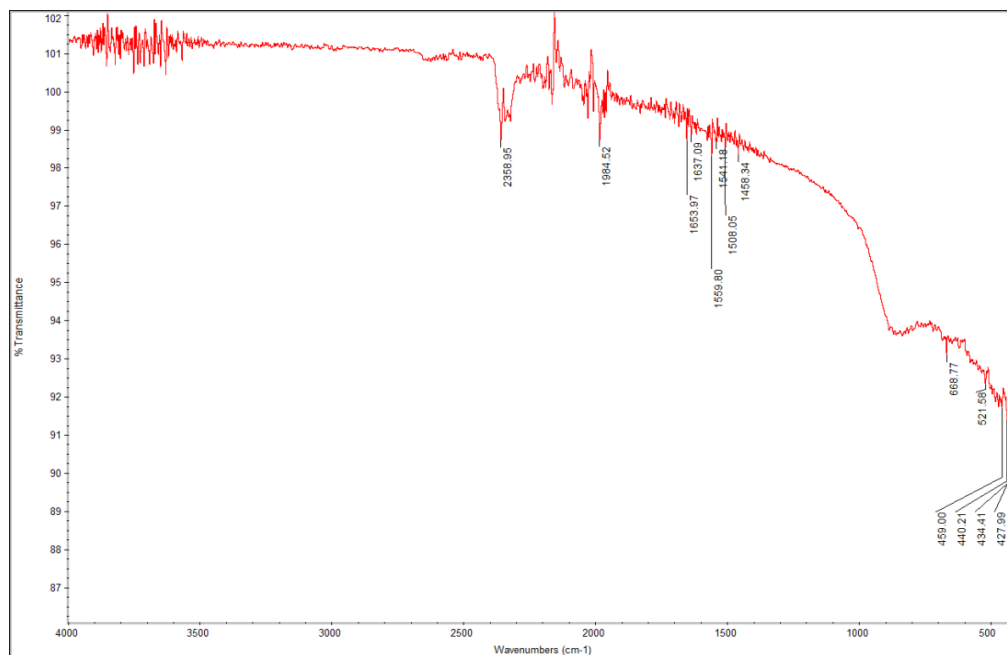
1. Hasil peak Uji FT-IR pada temperatur 200°C variasi tekanan nitrogen 10 mBar (AA1)



2. Hasil peak Uji FT-IR pada temperatur 250°C variasi tekanan nitrogen 10 mBar (AB1)



3. Hasil peak Uji FT-IR pada temperatur 290⁰C variasi tekanan nitrogen 15 mBar (AC2)



A. Perhitungan ukuran kristal AlN

Perhitungan ukuran kristal AlN ini menggunakan Persamaan Debye Scherrer.

$$D = \frac{0.9 \lambda}{B \cos \theta}$$

dimana:

D : Ukuran kristal (Å)

λ : Panjang gelombang radiasi (Å) (λ CuK α = 1.54056 Å)

B : *Full Width at Half Maximum* (rad) (1° = 0.01745 rad)

θ : Sudut Bragg ($^\circ$)

C.1 AlN pada temperatur substrat 200° C dan tekanan nitrogen 10 mBar

$$2\theta = 69.2092^\circ$$

$$\theta = 34.60145^\circ$$

$$\cos \theta = 0.823121$$

$$\text{FWHM} = 0.0816^\circ$$

$$B = 0.0816 \times 0.01745$$

$$= 0.00142 \text{ rad}$$

$$D = \frac{0.9 \times 1.54056}{0.00142 \times 0.8231} = 118,6327 \text{ nm}$$

B. Perhitungan Parameter kisi

$$\sin 2\theta = \frac{\lambda^2}{4} \left[\frac{4}{3} \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \right]$$

$$2\theta = 69.20$$

$$\theta = 34.6$$

$$\sin 2\theta = 0.5678$$

$$hkl = (200)$$

$$\lambda = \text{CuK}\alpha = 1.54056 \text{ \AA}$$

$$\sin 2\theta = \frac{1.54056^2}{4} \left[\frac{4}{3a^2} + \frac{1}{c^2} \right]$$

$$0.5678 = \frac{97,293}{0,324 \times 96} \left[\frac{1}{3a^2} + \frac{9}{8a^2} \right]$$

$$0.5678 = \left[\frac{8}{24a^2} + \frac{27}{24a^2} \right]$$

$$a^2 = 9.839$$

$$a = 3.136$$

$$c = \frac{1.632}{3.136}$$

$$c = 5,122$$

Hasil Perhitungan Pada Pola Difraksi SAED

File	ruler	D	r	d-spacing		
ALN 20170105 1035 21	98	1.849056604	0.924528302	1.381632653	Photo scale	106
	282.1	5.322641509	2.661320755	0.375753279	long	2
	354.1	6.681132075	3.340566038	0.299350466		
ALN 20170105 1036 37	97	1.830188679	0.91509434	1.292783505	Photo scale	106
	199	3.754716981	1.877358491	0.532663317	long	2
	291	5.490566038	2.745283019	0.364261168		
ALN 20170105 1037 25	95.1	4.852040816	2.426020408	0.412197687	Photo scale	196
	167.2	8.530612245	4.265306122	0.234449761	long	10
	224.3	11.44387755	5.721938776	0.174765938		
	316.4	16.14285714	8.071428571	0.123893805		
ALN 20170105 1036 37	99	2.5	1.25	0.8	Photo scale	198
	191	4.823232323	2.411616162	0.414659686	long	5
	367	9.267676768	4.633838384	0.215803815		
ALN 20170105 1056 02	97.1	3.65037594	1.82518797	0.547888774	Photo scale	133
	226.2	5.712121212	2.856060606	0.350132626	long	5
	418.3	10.56313131	5.281565657	0.189337796		
ALN 20170105 1056 25	104.1	2.628787879	1.314393939	0.760806916	Photo scale	133
	219.1	5.532828283	2.766414141	0.361478777	long	5
	419.2	10.58585859	5.292929293	0.188931298		
ALN 20170105 1057 02	95	2.398989899	1.199494949	0.833684211	Photo scale	133
	226	5.707070707	2.853535354	0.350442478	long	5
	404.1	10.20454545	5.102272727	0.195991091		

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Dianita Wardani, lahir di kota Jombang tanggal 26 April 1992. Penulis yang hobby traveling, membaca dan diskusi. Menempuh pendidikan formal di TK Keretarto Jombang, dilanjutkan sekolah dasar di SDN Gongseng 2 Jombang, serta bersekolah di SMP Negeri 2 Jombang. Setelah itu penulis melanjutkan sekolah di SMAN 2 Jombang program IPA dan lulus pada tahun 2010. Penulis diterima sebagai mahasiswa jurusan Fisika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tahun 2010 dengan bidang minat Fisika material melalui jalur PMDK dan lulus pada tahun 2014. Melanjutkan studi magister di teknik material dan metalurgi ITS pada bulan Januari 2015. Selama menjalani masa kuliah, Penulis aktif di beberapa organisasi diantaranya di Himpunan Mahasiswa Fisika ITS (HIMASIKA) periode 2010-2012 dan FKMM pada periode 2015-2016. Penulis menyelesaikan studi magister dengan mengambil topik “Analisis Pengaruh Temperatur Substrat dan Tekanan Gas Nitrogen Terhadap Pertumbuhan Kristal Aluminium Nitrida (AlN) Menggunakan *Metode Reactive Sputtering*” dengan dosen pembimbing ibu Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D, peneliti melakukan riset penelitian di PSTA BATAN Yogyakarta dan Lab Kimia Material di Teknik Material ITS Surabaya. Selama kuliah Penulis juga aktif menulis karya ilmiah seperti PKM. Apabila ingin berdiskusi terkait Thesis dapat menghubungi penulis melalui email: dianitawardani@gmail.com